RANCANG BANGUN SISTEM OTOMASI PADA WAZUH MENGGUNAKAN VALIDASI MULTI-SOURCE CTI UNTUK MITIGASI MALWARE

SUB JUDUL

Rancang Bangun Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis Multi-Source Cyber Threat Intelligence Pada Wazuh SIEM

SKRIPSI

MUHAMMAD ILHAM SUTAMA **2207421028**

PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMBILAN KEPUTUSAN BERBASIS MULTI-SOURCE CYBER THREAT INTELLIGENCE PADA WAZUH SIEM

SKRIPSI

Dibuat untuk Melengkapi Syarat-Syarat yang Diperlukan untuk Memperoleh Diploma Empat Politeknik

MUHAMMAD ILHAM SUTAMA

2207421028

PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ilham Sutama

NIM : 2207421028

Jurusan/ProgramStudi : Teknik Informatika dan Komputer / Teknik Multimedia dan Jaringan

Judul skripsi : Rancang Bangun Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis Multi-Source Cyber Threat Intelligence Pada Wazuh SIEM

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya seni orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung ciri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Depok, 09 Juni 2026

yang membuat pernyataan

Muhammad Ilham Sutama

NIM. 2207421028

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama	: Muhammad Ilham Sutama
NIM	: 2207421028
Program Studi	: Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi	: Rancang Bangun Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis Multi-Source Cyber Threat Intelligence Pada Wazuh SIEM

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Rabu, Tanggal 17, Bulan Juni, Tahun 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan oleh:

Pembimbing I	Asep Kurniawan S,Pd., M.Kom	( )
Penguji I	Ayu Rosyida Zain, S.ST, M.T.	( )
Penguji II	Dr. Defiana Arnaldy, S.T.P., M.Si.	( )
Penguji III	Andika Riyadi Jasril, M.Pd.T.	( )

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua

Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.
NIP. 197908032003122003

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanallahu wa ta'ala* yang atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis *Multi-Source Cyber Threat Intelligence* Pada Wazuh SIEM".

Penulisan skripsi ini menjadi tahapan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Empat Politeknik. Penulis menyadari bahwa kontribusi dan dukungan dari seluruh pihak sejauh inilah yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Asep Kurniawan, S.Pd., M.Kom, selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu, memberi masukan dan mendukung sepenuh hati dalam proses pengerjaan skripsi ini hingga selesai.
2. Ibu, ayah dan adik yang telah memberikan dukungan baik dalam segi material dan moral serta terus memotivasi penulis dalam taraf yang tidak bisa diukur.
3. Bayu Dwi Setianto selaku rekan yang telah mengerahkan seluruh tenaga dan upaya hingga dapat menyelesaikan skripsi ini, serta kepada Raden Muhammad Fadil Azhar, Stephanie Meissya Permata Asri Tarigan, dan Harsdyka Wibisono selaku rekan dan sahabat, serta umumnya kepada seluruh rekan seperjuangan dari kelas TMJ A dan TMJ B yang membantu penulis dalam perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna dan memiliki kesalahan serta kekurangan di dalamnya, oleh karena itu penulis meminta maaf yang sebesar–besarnya atas kesalahan dan segala kekurangan yang ada. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak dan semoga ilmu yang didapatkan selama masa perkuliahan ini dapat terus mengalir sehingga menumbuhkan manfaat kepada lingkungan sekitar.

Depok, 09 Juni 2026

Muhammad Ilham Sutama
NIM. 2207421028

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertanda tangan di bawah ini : Nama : Muhammad Ilham Sutama

NIM : 2207421028

Jurusan/Program Studi : T.Informatika dan Komputer / T. Multimedia dan Jaringan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Rancang Bangun Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis Multi-Source Cyber Threat Intelligence pada Wazuh SIEM

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 08 Juni 2026
Yang membuat pernyataan,

Muhammad Ilham Sutama
NIM. 2207421028

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMBILAN KEPUTUSAN BERBASIS MULTI-SOURCE CYBER THREAT INTELLIGENCE PADA WAZUH SIEM

ABSTRAK

Proses validasi alert yang masih dilakukan secara manual oleh tim analis Security Operations Center (SOC) di PT. XYZ membuka peluang optimasi alur kerja dalam tim, validasi alert yang umumnya dilakukan dengan mengakses berbagai platform Cyber Threat Intelligence (CTI) secara terpisah memerlukan waktu yang relatif lama dan berpotensi menambah beban kerja berlebih serta menghasilkan keputusan yang kurang konsisten. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan Multi-Source Cyber Threat Intelligence untuk pengambilan keputusan pada Wazuh SIEM di lingkungan PT. XYZ. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan mensimulasikan proses pengunduhan file malware pada lingkungan Wazuh agent parameter yang diukur berupa F1-score dari hasil verdict sistem pengambilan keputusan dan waktu percepatan yang didapatkan melalui proses otomatisasi didapatkan dari speedup test. Berdasarkan hasil evaluasi pengujian terhadap 188 sampel malware file unik dan 240 sampel file normal didapati sistem memiliki nilai precision sebesar 98,41%, recall sebesar 98,94% dan F1-score sebesar 98,67%. Pengujian waktu respon menunjukan sistem usulan yang digunakan mampu menangani proses validasi dalam waktu rata-rata 3 detik, lebih cepat dibandingkan proses manual yang membutuhkan waktu rata-rata 42,2 detik sehingga menghasilkan percepatan 14 kali lebih cepat. Penelitian ini menunjukan sistem pengambilan keputusan pada Wazuh SIEM mampu memberikan hasil validasi ancaman dengan nilai F1-score sebesar 98,67%, mempercepat respons insiden, sehingga berpotensi pada berkurangnya beban kerja analis SOC.

Kata kunci: *Multi-Source Cyber Threat Intelligence,* Wazuh *SIEM, Security Operations Center, Decision Fusion.*

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era dimana perkembangan teknologi berjalan sangat cepat dan masif, membuat keamanan siber menjadi aspek yang sangat penting dalam menjaga integritas, kerahasiaan dan ketersediaan data (Hidayat et al., 2025). Berbagai upaya dilakukan dalam menghalau serangan siber yang terjadi, salah satunya adalah dengan mengimplementasikan *Security Information and Event Manager* (SIEM) dalam ekosistem jaringan komputer (Hidayat et al., 2025).

Dalam implementasi SIEM terkait erat dengan pemanfaatan *tools* pengumpulan informasi keamanan siber seperti *Cyber Threat Intelligence* (CTI) untuk mendeteksi serangan. SIEM berfungsi sebagai pusat kendali yang bertugas mengumpulkan log dari berbagai *tools* keamanan secara *real-time*. Sedangkan CTI berperan dalam memberikan informasi mengenai indikator serangan yang sudah pernah dilaporkan pada platform komunitas siber.

Meskipun SIEM memiliki peran krusial dalam memusatkan pemantauan keamanan, tingginya volume alert yang dihasilkan setiap harinya sering kali tidak sebanding dengan kapasitas analitik manusia. Kondisi ini memicu fenomena yang dikenal sebagai alert fatigue, di mana analis Security Operations Center (SOC) mengalami beban kognitif berlebih akibat keharusan memverifikasi ribuan notifikasi yang mayoritas merupakan false positive. Akibatnya, *alert* krusial yang menandakan ancaman *real* sering kali terabaikan.

Dalam hal ini, PT.XYZ telah mengimplementasikan SIEM sebagai alat pemantauan berbagai aktivitas keamanan yang terjadi pada *endpoint*. Namun berdasarkan proses operasional yang berjalan pada lingkungan SOC PT.XYZ ditemukan permasalahan pada proses validasi ancaman yang saat ini masih dilakukan secara manual, di mana ketika SIEM menghasilkan *alert* yang berisi indikator berupa hash dan IP. Analis harus mengakses berbagai

platform CTI seperti VirusTotal, CTX.IO, OTX Alienvault, dan Abuse IPDB secara manual dengan membuka satu persatu platform untuk memperoleh informasi terkait indikator yang ditemukan.

Proses tersebut berjalan repetitif dan memakan waktu karena analis perlu mencari dan membandingkan informasi dari berbagai sumber CTI. Kondisi ini sesuai dengan tantangan operasional SOC yang dikemukakan oleh (Khayat et al., 2025), di antaranya tingginya beban kerja analis, tidak adanya otomatisasi, serta kebutuhan untuk meningkatkan efektivitas proses validasi dan respons insiden.

Selain itu menurut (santos et.al 2025), ketergantugan pada satu sumber CTI memiliki keterbatasan karena hanya merepresentasikan sebagian sudut pandang terhadap ancaman yang diamati. Meskipun demikian, sumber - sumber CTI ini memiliki karakteristik dan tingkat keandalan yang berbeda dalam mengidentifikasi ancaman sehingga diperlukan sistem yang mampu merepresentasikan tingkat keandalan yang sesuai antara satu platform CTI dengan platfrom lainnya.

Untuk menghadapi permasalahan tersebut, dibutuhkan suatu sistem yang mampu mengintegrasikan SIEM Wazuh dengan berbagai sumber CTI yang digunakan pada lingkungan perusahaan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan pada kasus ini adalah *Decision Level Fusion*, metode ini menggabungkan hasil penilaian dari berbagai sumber untuk menghasilkan sebuah verdict atau keputusan akhir. Pendekatan ini mengadaptasi kerangka kerja *Multimodal Data Fusion* yang telah digunakan untuk meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dari lingkungan yang membutuhkan banyak sumber informasi (Dong et al., 2025).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun mekanisme pengambilan keputusan berbasis *Multi-Source Cyber Threat Intelligence* (Multi CTI) dengan Wazuh SIEM. Dengan mengintegrasikan berbagai sumber pengayaan informasi melalui platform CTI VirusTotal, CTX.io, OTX Alienvault, dan Abuse IPDB terkait indikator yang diawasi, proses validasi ancaman diharapkan dapat dilakukan secara lebih efisien serta

mendukung pengambilan keputusan dalam operasional harian SOC PT TirtaNawasena Teknologi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara merancang dan mengimplementasikan Multi-Source *Cyber Threat Intelligence* untuk pengambilan keputusan pada Wazuh SIEM?
2. Bagaimana menganalisis kinerja deteksi ancaman pada SIEM Wazuh dengan penggunaan Multi-Source CTI?
3. Bagaimana cara mengotomatisasi proses *Cyber Threat Intelligence* pada log SIEM Wazuh?

1.3 Batasan Masalah

Fokus penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Integrasi CTI yang digunakan terbatas pada CTI dengan layanan API gratis dari platform: CTX.io, Virus Total, OTX, dan Abuse IPDB.
2. Indikator IOC yang digunakan terbatas pada IP dan hash (SHA 256).
3. Agent yang dimonitoring terbatas pada sistem operasi ubuntu desktop.
4. Penelitian dilakukan menggunakan lingkungan lokal pada *virtual machine*.
5. Evaluasi kinerja difokuskan pada metrik *F-1 Score*, *precision*, dan *recall*.
6. *File* yang dapat dideteksi berbasis exe, dll, msi, js / javascript, ps1 / powershell, py / python, vba, xls, rtf, txt, zip, rar, html, asp, crx (Ekstensi Browser Chrome), mp3 / *file* audio.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Merancang dan mengimplementasikan Multi-Source *Cyber Threat Intelligence* untuk pengambilan keputusan pada Wazuh SIEM.
2. Menganalisis kinerja sistem yang diusulkan dalam mengotomatisasi proses pengambilan keputusan (verdict) *alert*.

3. Mengotomatisasi proses investigasi manual melalui *Cyber Threat Intelligence (CTI)* pada log SIEM Wazuh.

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Menurunkan beban kerja tim SOC L1 pada proses *data enrichment* log *alert*.
2. Meningkatkan kualitas pendeteksian pada SIEM Wazuh yang optimal antara penurunan *false positive* dan kemampuan mendeteksi serangan.
3. Menyediakan hasil analisis data mengenai spesialisasi dan tingkat akurasi setiap vendor CTI, memungkinkan identifikasi sumber yang paling andal untuk mendeteksi jenis serangan dan dapat menjadi dasar dalam pengembangan sistem selanjutnya.

1.5 Sistematika Penulisan

Berikut adalah sistematika penulisan dari skripsi ini:

A. BAB I PENDAHULUAN

Bab I berisikan penjelasan mengenai urgensi dari penelitian yang dilakukan. Bagian ini meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, serta tujuan dan manfaat dari rancang bangun mekanisme pengambilan keputusan berbasis *Multi-Source* CTI pada SIEM Wazuh.

B. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisikan penjelasan mengenai landasan teori serta tinjauan dari penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang dilakukan saat ini.

C. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab III menjelaskan mengenai rancangan penelitian, implementasi integrasi yang menjadi tahapan penelitian, dan objek penelitian.

D. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV menjelaskan mengenai hasil dan pembahasan penelitian yang dilakukan meliputi, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian serta hasil analisis pengujian.

E. BAB V PENUTUP

Bab V Berisi penjelasan mengenai kesimpulan dan saran secara singkat dari hasil penelitian terhadap pembahasan yang telah diuraikan pada bagian isi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini dilandasi dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Untuk mendukung kegiatan penelitian ini, peneliti mencantumkan beberapa penelitian terdahulu sebagai referensi yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu

No.	Judul dan Penulis	Hasil	Perbedaan
1.	Analisis Kinerja SIEM Wazuh Dengan Fim, Yara, Dan Virustotal Dalam Mendeteksi Malware Pada Ubuntu Server (*Abdullah R.A , 2025*)	Mengukur kinerja *hardware* (CPU/RAM) dan akurasi deteksi Wazuh menggunakan integrasi standar (*single source*) VirusTotal .	mengembangkan mekanisme pengambilan keputusan berbasis *Multi-Source* untuk validasi otomatis dan efisiensi waktu analisis (reduksi intervensi manual).
2.	Optimasi Deteksi Malware Pada Siem Wazuh Melalui Integrasi Cyber Threat Intelligence Dengan Misp Dan Dfir-Iris (Hidayat Et Al., 2025)	Menemukan bahwa Wazuh *standalone* memiliki akurasi rendah (19,70%). Integrasi MISP meningkatkan presisi hingga 96,3%, namun akurasi total masih 63,1%.	Penelitian ini menggunakan arsitektur *middleware* ringan menggunakan beberapa CTI agent.
3.	A Systematic Review of Cyber Threat Intelligence: The Effectiveness of Technologies, Strategies, and Collaborations in Combating Modern Threats (Santos. P, 2025	Referensi ini menggunakan protokol pertukaran data standar (STIX/TAXII) via MISP yang berfokus pada penyimpanan & berbagi intelijen jangka panjang.	Penelitian ini menggunakan metode Direct API Query berbasis JSON yang lebih ringan.

No.	Judul dan Penulis	Hasil	Perbedaan
4.	A Deep Dive Into the 2024 CrowdStrike Outage: Analysis of Kernel-Level Failures in *Endpoint* Security (Olabanji, 2023)	Menggunaan sistem crowdstrike yang beroperasi pada Kernel Level dengan risiko instabilitas sistem yang tinggi.	Pendekatan memanfaatkan data log di User Level yang diintegrasikan dengan CTI yang lebih aman dan stabil.
5.	Enhancing *False positive* Alert Detection in Security Information and Event Management System Using Recurrent Neural Network (Aktar et al., 2024)	Analisis data serangan dengan metode machine learning Echo State Networks (ESN) dengan dataset keagle. Tujuan utamanya untuk menentukan *true positive* atau *false positive* bukan untuk membuat *active response.*	Sistem menggunakan *automated defense active response* yang segera memblokir ancaman pada *endpoint* ketika telah terverifikasi dengan data *real time.*

2.2 Cyber Threat Intelligence

Cyber Threat Intelligence (CTI) menjadi salah satu pilar keamanan siber yang memungkinkan organisasi untuk secara aktif mendeteksi, mengevaluasi, dan menangani ancaman siber yang muncul. (Soumik et al., 2024). Dalam penelitian ini CTI digunakan untuk menyediakan informasi ancaman yang dapat ditindak lanjuti dalam sistem SIEM.

Penggunaan CTI yang digunakan dalam penelitian ini didasari oleh oleh kebutuhan untuk meningkatkan kualitas deteksi ancaman melalui konteks yang lebih kaya pada setiap alert yang dihasilkan SIEM.

2.3 VirusTotal

VirusTotal adalah layanan online penganalisis *file*, IP, dan URL mencurigakan untuk mendeteksi jenis *malware* dan konten berbahaya menggunakan mesin antivirus dan pemindai situs web. VirusTotal memeriksa item menggunakan lebih dari 70 mesin antivirus dan memiliki VirusTotal Community sebagai jaringan yang memungkinkan berbagi catatan satu sama lain. (VTDoc, 2025).

VirusTotal memberikan hasil analisis agregat dari puluhan mesin antivirus sekaligus dalam satu API *request*. Hal ini menjadikan VirusTotal sebagai sumber utama untuk memvalidasi apakah suatu IOC baik berupa IP, domain,

URL, maupun hash *file* telah dideteksi sebagai berbahaya dan secara umum digunakan oleh komunitas keamanan siber global.

2.4 OTX – Level Blue

Open Threat Exchange (OTX), adalah platform *opensource* untuk berbagi informasi ancaman siber, yang kini dikelola oleh LevelBlue. Data ancaman dikemas dan didistribusikan dalam bentuk laporan yang disebut "Pulse" yang berisi konteks ancaman (seperti jenis malware atau pelaku) beserta daftar IOC terkait, yang dapat mencakup alamat IP, domain, hash file, atau bahkan informasi jaringan seperti ASN (*Autonomous System Number*). (OTX Threat, 2026)

OTX digunakan dalam penelitian ini karena sifatnya yang *community driven* dan *open source*, sehingga mampu menyediakan intelijen ancaman terkini yang dikontribusikan oleh ribuan peneliti keamanan di seluruh dunia secara real-time.

2.5 CTX.io

Cyber Threat eXchange (CTX) adalah platform analisis ancaman siber dari SANDS Lab Co., Ltd. asal Korea Selatan yang menilai reputasi IP, domain, URL, dan *file* hash dengan indikator *malicious* atau normal. (CTX, 2026). CTX.io digunakan dalam penelitian ini karena dapat memberikan konteks nama dari jenis ancaman yang terdeteksi.

Penelitian ini menggunakan platform CTX.io karena platform ini secara langsung dapat mengklasifikasikan kategori ancaman seperti *phishing*, *botnet*, *ransomware*, dan lainnya sehingga analis dapat langsung memahami karakteristik ancaman tanpa perlu melakukan investigasi lanjutan secara manual.

2.6 Abuse IPDB

Abuse IPDB adalah *tools* analisis ancaman siber yang bekerja sebagai *community-based IP blacklist database. Tools* ini memiliki spesialisasi dalam dokumentasi dan pemblokiran IP *malicious* yang berpotensi mengandung ancaman siber. (*About - AbuseIPDB*, 2026).

AbuseIPDB digunakan dalam penelitian ini karena keunggulannya dalam menyediakan data reputasi dan riwayat penyalahgunaan alamat IP secara terperinci. Platform ini melaporkan confidence score berdasarkan laporan komunitas, kategori penyalahgunaan, serta periode aktivitas berbahaya suatu IP. Dalam sistem SIEM, informasi tersebut dimanfaatkan sebagai dasar pemblokiran IP otomatis sekaligus penguat konteks pada alert yang melibatkan komunikasi dengan IP eksternal mencurigakan.

2.7 Security Information and Event Management

Security Information and Event Management (SIEM) telah menjadi sarana penting untuk memantau, mendeteksi, dan menanggapi insiden keamanan (Manzoor et al., 2024). SIEM adalah solusi keamanan yang membantu organisasi mengidentifikasi dan menangani ancaman keamanan dan kerentanan potensial sebelum mengganggu operasional bisnis.

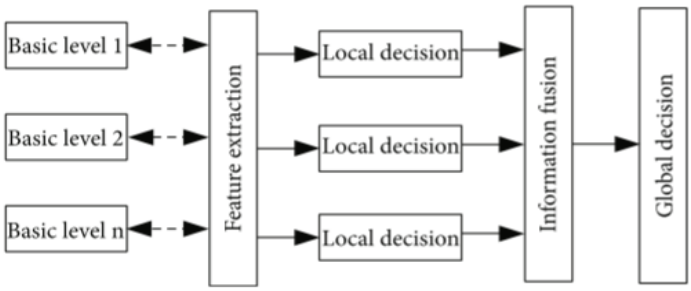
2.8 Wazuh

Wazuh adalah alat pemantauan keamanan sumber terbuka yang mendeteksi ancaman, memastikan kepatuhan, dan menanggapi insiden. Wazuh menyediakan solusi yang andal dalam keamanan dan pemantauan menggunakan kemampuan seperti *Security Information and Event Management* (SIEM) dan *Extended Detection and Response* (EDR) (Javid, 2024).

2.9 Python

Guido Van Rosum mengembangkan bahasa pemrograman tingkat tinggi Bernama Python pada tahun 1991. Python menjadi Bahasa pemrograman yang sangat populer di kalangan peneliti karena kemudahan dalam menuliskan sintaks dan bantuan *library* dari komunitas *developer* pihak ke tiga. (Rayhan & Gross, 2023) Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan bahasa pemrograman Python dalam membangun sistem pengambilan keputusan berbasis Multi-Source CTI.

2.10 Decision Level Fusion



Gambar 2.1 Decision Level Fusion Diagram

Sumber : (https://doi.org/10.1155/2022/8902762 diakses pada rabu 1 Januari, 2026)

Decision level Fusion adalah metode penggabungan data yang memungkinkan setiap modalitas diproses dan dimodelkan secara independen sebelum keputusan akhir diambil. Pendekatan ini dinilai lebih unggul ketika salah satu sumber data memiliki nilai yang lebih dominan dalam proses pengambilan keputusan.(Dong et al., 2025).

2.11 F1-Score

Untuk menentukan nilai kinerja masing-masing CTI digunakan nilai F1. Mengutip jurnal (Silva et al., 2024) dikatakan bahwa nilai F1 merupakan ukuran yang andal untuk menilai kinerja *Network Intrusion Detection System* karena memberikan penilaian yang seimbang terhadap kinerja klasifikasi. Persamaan F1-Score yang digunakan merujuk pada jurnal (Rafsanjani et al., 2024). Rumus perhitungan disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel Rumus F1 Score

Metrik	Definisi	Rumus
Precision	Menunjukkan presentase hash atau IP berbahaya yang terdeteksi dengan benar dari seluruh hash atau IP berbahaya yang diprediksi.	$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$
Recall	Menunjukkan perbandingan antara jumlah data *malicious* yang dapat dideteksi dengan seluruh data yang sebenarnya ada.	$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$
F1-Score	Menunjukan rata-rata harmonis antara *precision* dan *recall*	$\text{F1-Score} = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall}$

Sumber : (https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10552700 diakses pada rabu 1 Januari, 2026) "telah diolah kembali"

Selanjutnya, *Confusion Matrix* digunakan untuk mengevaluasi hasil klasifikasi sistem dengan membandingkan hasil prediksi dengan kondisi sebenarnya. Matriks ini menghasilkan 4 komponen utama, yaitu *True Positive (TP), False positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN).*

Tabel 2.3 Referensi Confusion Matrix

Actual Class		**True Class**	
		Malicious	Normal
Tested Class	Malicious	True Positive	False Positive
	Normal	False Negative	True Negative

Sumber : (https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10552700 diakses pada rabu 1 Januari, 2026)

Berdasarkan tabel diatas, terdapat empat komponen utama dalam representasi hasil klasifikasi sistem. *True Positive* (TP) adalah kondisi dimana data *malicious* berhasil diprediksi sebagai *malicious*. *False positive* (FP) adalah kondisi dimana data *normal* diprediksi sebagai *malicious* sehingga menghasilkan alarm palsu. *False Negative* (FN) adalah kondisi dimana data *malicious* diprediksi *normal* menunjukan ancaman tidak dapat terdeteksi. Sedangkan *True Negative* (TN) merupakan kondisi ketika data *normal* berhasil diprediksi *normal* oleh sistem.

2.12 EICAR Test File

European Institute for Computer Antivirus Research (EICAR) *test file* merupakan serangkaian kode tidak berbahaya dan secara umum diakui sebagai signature *file malicious* oleh perangkat antivirus, (Jang et al., 2025) secara luas Eicar telah diterima sebagai *baseline file malicious* dalam sebuah penelitian oleh karena itu penelitian ini akan menggunakan EICAR.txt *test file* untuk merepresentasikan file berbahaya dalam lingkungan sistem.

2.13 Speedup Test

Speedup test adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui Tingkat percepatan kinerja yang diperoleh sistem usulan melalui perbandingan waktu eskekusi sistem dalam menangani suatu tugas tertentu.

Tujuan utama pengukuran *speedup* adalah mengetahui tingkat percepatan penyelesaian suatu tugas dibandingkan metode referensi. Oleh karena itu, pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi seberapa cepat sistem validasi otomatis dapat menghasilkan keputusan dibandingkan proses validasi manual oleh analis SOC.

Berdasarkan jurnal (Schryen, 2024) rumus analisis percepatan eksekusi sistem disajikan sebagai berikut.

$$S(N) := \frac{T(1)}{T(N)}, T : \mathbb{N} \rightarrow R^{>0}$$

Sumber : (*https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2023.104835)*

Speedup S(N) didefinisikan sebagai rasio antara waktu dari komputasi *T(1)* dan waktu komputasi paralel *T(N)* yang diperlukan untuk memproses suatu tugas dengan beban kerja tertentu. Rumus dari jurnal terkait menjadi dasar perhitungan dari speedup test pada penelitian ini.

2.14 Malware

Malware adalah perangkat lunak berbahaya yang dirancang untuk merusak keamanan sistem dan memperoleh keuntungan secara ilegal. Aktivitas kriminalnya meliputi kebocoran data dan pencurian identitas, dan *malware* ini dapat menyebar melalui berbagai vektor berupa file yang dapat dieksekusi atau perangkat lunak. (Ferdous et al., 2023).

2.15 *Security Operations Center (SOC) Analyst*

Security Operations Center (SOC) Analyst adalah profesional keamanan siber yang bertanggung jawab sebagai garis pertahanan terdepan dalam memantau, mendeteksi, menganalisis, dan merespons insiden atau ancaman yang terjadi pada infrastruktur teknologi informasi suatu organisasi. Analis SOC umumnya beroperasi secara terus-menerus menggunakan berbagai instrumen keamanan, salah satunya adalah Security Information and Event Management (SIEM), untuk memusatkan visibilitas log dari seluruh aktivitas jaringan dan endpoint (Khayat et al., 2025)

Dalam operasional hariannya, analis SOC bertugas melakukan alert *triage*, memvalidasi Indicator of Compromise (IoC) seperti IP dan hash, serta menentukan tingkat keparahan insiden. Untuk mengeksekusi tindakan

mitigasi yang akurat, analis sangat bergantung pada platform *Cyber Threat Intelligence* (CTI) sebagai sumber pengayaan konteks dan reputasi ancaman.

2.16 *Balance Accuracy*

Balance Accuracy adalah metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur rata-rata dari akurasi secara proporsional pada setiap kelas sehingga menghasilkan penilaian yang lebih objektif dan tidak bias terhadap distribusi data yang tidak seimbang. (Cohen et al., 2025) metode ini digunakan untuk menggantikan perhitungan akurasi biner konvensional yang secara umum diketahui akan menghasilkan klasifikator yang bias dan mengarah ke arah kelas yang sering muncul.

Perhitungan *Balance Accuracy* dijabarkan melalui rumus berikut:

$$C \times \frac{TP}{P} + (1 - C) \times \frac{TN}{N}$$

Sumber : (*DOI:10.1109/ICPR.2010.764)*

Penggunaan *Balanced Accuracy* pada penelitian ini digunakan sebagai metrik pendukung untuk mengkonfirmasi bahwa hasil yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh ketidakseimbangan jumlah sampel antara kelas *malicious* (188 sampel) dan kelas normal (240 sampel).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian menjelaskan pendekatan dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini, meliputi model penelitian yang dipilih serta teknik pengumpulan data dan analisis yang diterapkan dalam rangka mengevaluasi kinerja sistem pengambilan keputusan berbasis Multi CTI.

3.1.1 Model Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan kuantitatif dengan model yang digunakan adalah eksperimen untuk menguji efektifitas mekanisme pengambilan keputusan berbasis Multi-Source *cyber threat intelligence* pada Wazuh SIEM sebagai sistem yang diusulkan dalam lingkungan terkendali. Eksperimen dilakukan dengan pengujian langsung dengan membandingkan dua konfigurasi sistem, yaitu konfigurasi wazuh standar dengan konfigurasi sistem yang diusulkan. Metode ini dipilih sehingga diharapkan dapat memperoleh data objektif mengenai kinerja sistem yang diusulkan dalam mendeteksi perilaku berbahaya (*malware*) pada lingkungan sistem.

3.1.2 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis

Teknik pengumpulan data dan analisis akan mengacu kepada parameter – parameter yang akan dijabarkan dibawah ini. Teknik pengujian akan berdasarkan pada beberapa skenario berikut,

Skenario A (Uji Akurasi Deteksi *Malware* Sistem Usulan):

1. User mendownload file malicious melalui *website*.
2. Sistem mengekstraksi hash 256 dan divalidasi semua CTI source
3. Keputusan sistem akan dibandingkan dengan ground truth

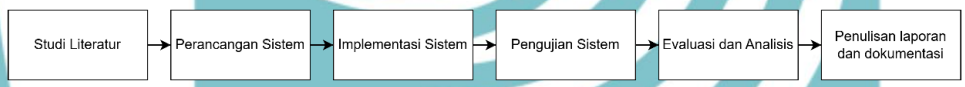
Skenario B (Uji Waktu Respon Sistem):

1. Mengukur waktu respons sistem dalam menganalisa *alert* dan memberikan keputusan.

2. Pengujian manual dihitung melalui timer sedangkan pengujian otomatis dihitung melalui skrip Python yang sudah disiapkan.
3. Metrik yang digunakan adalah dalam perhitungan detik (s).

Teknik penentuan angka pembobotan (*weigth scoring*) akan didasarkan pada data historis dari file *malware* dan normal dari inisiden nyata pada lingkungan SOC. Sample yang digunakan berjumlah 200 sampel (100 sampel masing-masing *normal* dan *malicious* file). Nilai pembobotan yang telah ditetapkan kemudian divalidasi melalui pengujian akhir sistem menggunakan 428 sampel yang terdiri dari 188 sampel malicious dan 240 sampel normal, untuk memastikan bahwa bobot yang digunakan menghasilkan kinerja deteksi yang optimal pada data pengujian yang lebih luas.

3.2 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berdasarkan diagram penelitian pada Gambar 3.1, berikut adalah alur dari kegiatan penelitian yang akan dilaksanakan:

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengkaji secara teoritis mengenai konsep kerangka kerja CTI, active defense, dokumentasi API dan arsitektur security and event management (SIEM) dan analisis kebutuhan berdasarkan referensi dari berbagai sumber terkait penelitian.

b. Perancangan Sistem

Tahap perancangan dilakukan untuk memastikan sistem yang dirancang sesuai dengan kebutuhan berdasarkan referensi yang telah didapatkan dengan cara mendesain topologi jaringan pada lingkungan virtual, logika algoritma weigthed scoring, dan skema cache. Arsitektur dan *flowchart* digunakan dalam proses perancangan sebagai acuan untuk tahap pembuatan sistem.

c. Implementasi sistem

Pembuatan sistem disesuaikan dengan rancangan sistem pada tahap sebelumnya dimana script python akan diintegrasikan kepada Wazuh dengan logika validasi CTI dan database SQLite. Kode disusun dengan modular memanfaatkan sistem cache dan terintegrasi dengan respon eksekusi otomatis.

d. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode observasi simulasi yang bertujuan untuk menganalisis bagaimana sistem dalam merespon ancaman.

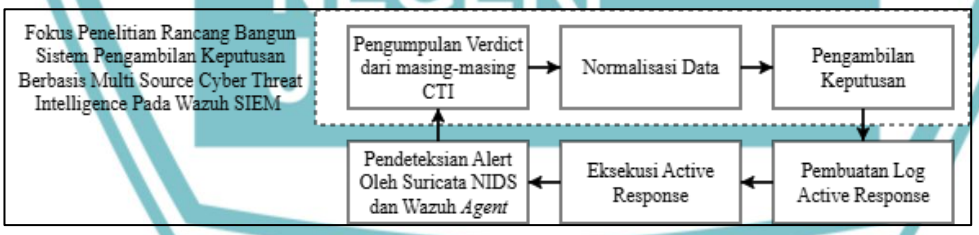
e. Evaluasi dan Analisis

Sistem akan dianalisis dan dievaluasi berdasarkan hasil pengujian pada tahap sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dan kekurangan dari sistem yang telah dibuat sehingga dapat dijadikan rujukan pada penelitian selanjutnya.

f. Penulisan Laporan dan Dokumentasi

Tahap penulisan laporan mengacu pada pedoman skripsi jurusan teknik informatika dan komputer.

Untuk membantu memahami pembagian tugas sesuai alur penelitian yangakan dilakukan. Berikut adalah workflow diagram dan pembagian tugas dalam membuat sistem yang diusulkan.



Gambar 3.2 Scope Penelitian Sistem Pengambilan Keputusan

Berdasarkan *workflow* pada Gambar 3.2 sistem pengambilan keputusan bertanggung jawab atas pengumpulan verdict dari masing masing CTI, normalisasi data, pengambilan keputusan menggunakan metode yang telah diusulkan, dan pengiriman perintah pemblokiran.

3.3 Objek Penelitian

Untuk mengetahui dampak dari penggunaan multi CTI dalam lingkungan Wazuh objek penelitian yang akan diteliti adalah Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis Multi-Source *Cyber Threat Intelligence* pada Wazuh SIEM yang mengintegrasikan Virustotal dengan CTI lainnya yaitu, CTX.io, OTX alienvault, dan Abuse IPDB. Penelitian ini akan menganalisis seberapa efisien kinerja antara sistem yang diusulkan dengan konfigurasi Wazuh standar yang hanya menggunakan integrasi dengan virustotal. Analisis dilakukan dengan mengukur efektivitas deteksi dan efisiensi penanganan *alert* termasuk tingkat *false positive* dan jumlah *alert* yang dihasilkan, sehingga dapat membantu penanganan insiden keamanan yang terjadi pada lingkungan internal SOC di PT.XYZ .

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh komponen yang diperlukan dalam membangun sistem pengambilan keputusan berbasis Multi-Source CTI lalu dijabarkan melalui dua aspek berikut.

4.1.1 Spesifikasi Sistem

Konfigurasi sistem dibuat dalam lingkup terbatas menggunakan *virtual machine* dengan kondisi lokal.

Tabel 4.1 Spesifikasi Sistem

Nama Virtual Mesin	Sistem Operasi	CPU	RAM	*Storage*
Wazuh Server	Wazuh v4.14.1 OVA	8 Core	8 GB	100 GB
Suricata Server	Ubuntu Server	2 Core	8 GB	50 GB
Mikrotik	Mirotik-Router OS v6.40.1	1 Core	512 Mb	512 Mb
Wazuh Agent	Ubuntu 24.04.3	4 Core	4 GB	25 GB

Spesifikasi terkait sistem ditunjukan oleh Tabel 4.1. konfigurasi ini disesuaikan dengan kebutuhan sistem dari masing – masing *virtual machine* yang digunakan.

4.1.2 Konfigurasi Jaringan

Sistem berada pada lingkungan virtual machine dengan konfigurasi jaringan lokal, hal ini dilakukan untuk membuat lingkungan yang terisolasi dengan baik dalam menjalankan penelitian.

Tabel 4.2 Tabel Konfigurasi Jaringan NAT

Nama Virtual Mesin	IP Address	Segmentasi
Wazuh Server	192.168.11.2	192.168.11.0/24
Wazuh Agent	192.168.11.100 - 254	
Suricata Server	192.168.11.3	
Mikrotik	192.168.11.1	

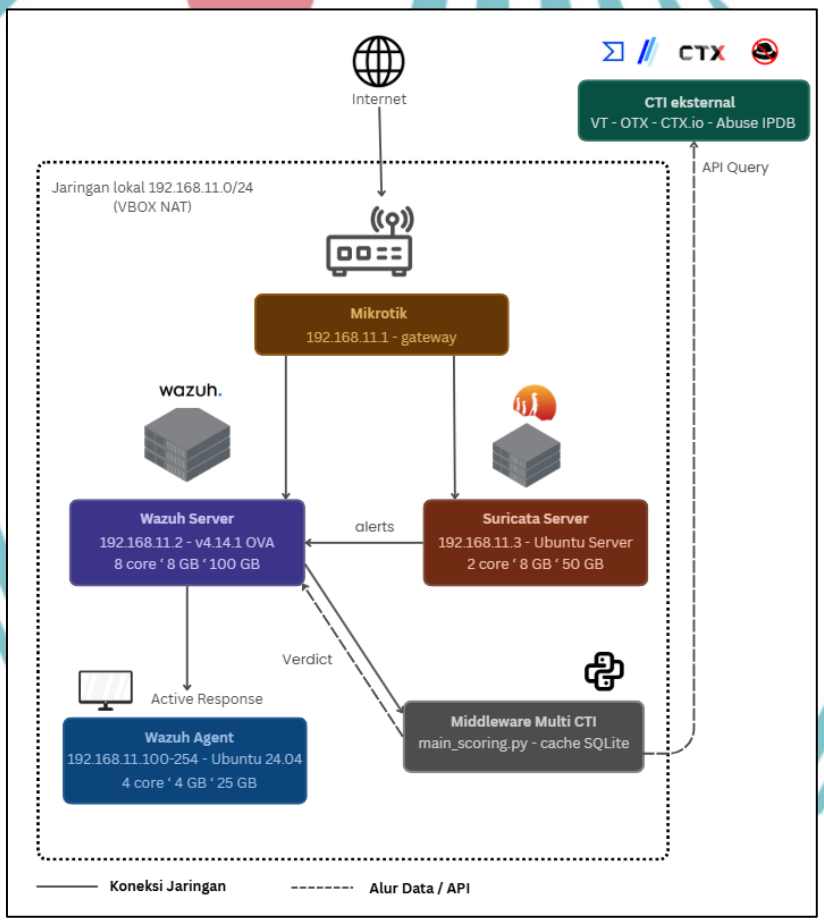
konfigurasi kebutuhan dari jaringan LAN dapat dilihat pada Tabel 4.2. Jaringan LAN digunakan untuk memastikan kedua virtual machine dapat saling terhubung dan menyediakan koneksi internet melalui router yang terhubung.

4.2 Perancangan Sistem

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai rancangan sistem yang digunakan dalam penelitian meliputi arsitektur dan *flowchart* dari sistem usulan, topologi sistem, diagram alir sistem secara keseluruhan dan arsitektur sistem pengambilan keputusan.

4.2.1 Topologi Sistem

Topologi sistem pengambilan keputusan berbasis dirancang dan diimplementasikan dalam lingkungan jaringan virtual yang terisolasi, dengan memanfaatkan beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mendukung proses deteksi ancaman.



Gambar 4.1 Topologi Sistem

Gambar 4.1 merupakan topologi sistem yang digunakan dalam penelitian dan berjalan pada lingkungan *virtual machine* tersolasi dengan segmentasi jaringan 192.168.11 0/24 menggunakan Virtualbox. Seluruh komponen

terhubung dengan Mikrotik Router OS (192.168.11.1) yang berfungsi sebagai *gateway* dan penyedia koneksi internet kedalam jaringan lokal.

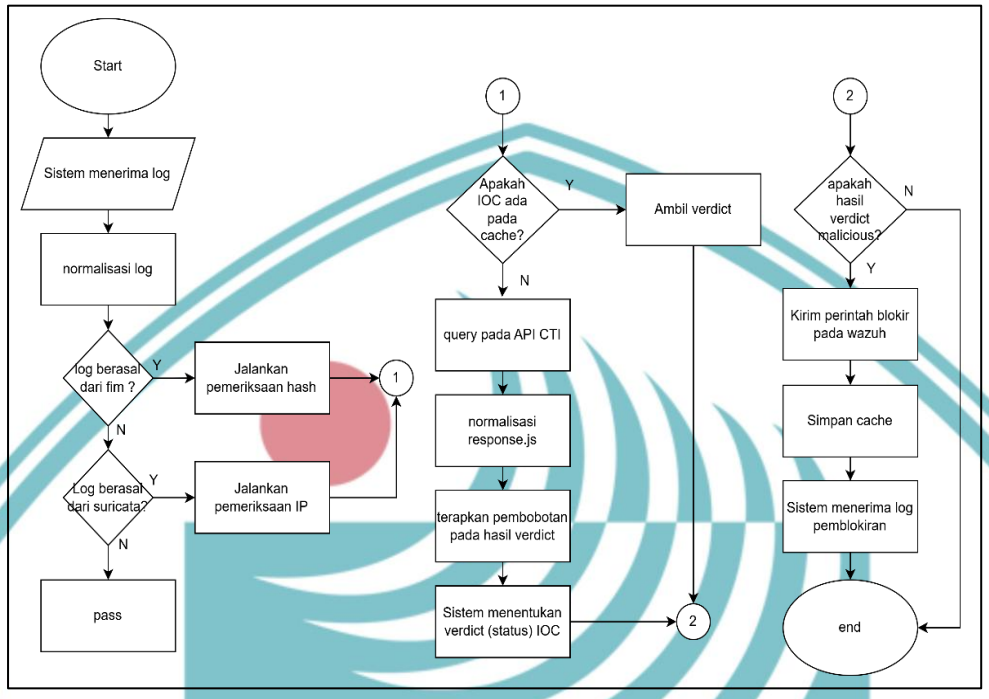
Wazuh server dengan IP 192.168.11.2 berjalan dengan versi OVA 4.14.1 dan memiliki spesifikasi 8 *core*, 8 GB RAM, dan 100 GB *storage*, berperan sebagai pusat kendali dan menerima log dari seluruh komponen, mengeksekusi aturan deteksi dan membuat perintah *active response* untuk menghapus *file* dan memblokir IP berbahaya pada lingkungan *agent* dan mikrotik. Suricata server (192.168.11.3) berjalan pada ubuntu server dengan spesifikasi 2 *core* dan 8 GB RAM yang bertugas untuk mengirimkan hasil pemantauan jaringan dan meneruskan *alert* berbasis IP ke Wazuh Server. Wazuh Agent (192.168.11.100) terinstal pada Ubuntu 24.04 dengan spesifikasi 4 Core dan 4 GB RAM sebagai *endpoint* yang dimonitor, Agent akan mengirimkan log aktivitas sistem berupa *alert* dari *File Integrity Manager* (FIM) ke Wazuh Server.

Komponen *Middleware,* sistem pengambilan keputusan berbasis Multi CTI (Multi CTI) berjalan sebagai proses eksternal pada Wazuh Server yang memantau *file* alerts.json. Ketika log dari FIM atau Suricata memenuhi kriteria pemeriksaan, *middleware* akan melakukan query secara *paralel* kepada sumber CTI eksternal, yaitu Virustotal, OTX AlienVault, CTX.io dan Abuse IPDB melalui API. Hasil dari setiap sumber. Hasil dari setiap sumber dinormalisasi dan proses diproses menggunakan mekanisme *Information Fusion* untuk menghasilkan hasil keputusan (*verdict*) akhir yang akan mempengaruhi sistem dalam menentukan perintah active response yang sesuai pada wazuh agent dengan melakukan tindakan mitigasi otomatis.

4.2.2 Flowchart Sistem

Alur kerja sistem pengambilan keputusan berbasis Multi-Source *Cyber Threat Intelligence* digambarkan melalui *flowchart* untuk menunjukkan urutan proses yang dijalankan sistem sejak penerimaan alert hingga pelaksanaan respons otomatis. *Flowchart* digunakan sebagai representasi logika sistem dalam melakukan ekstraksi indikator, validasi melalui

berbagai sumber CTI, proses pengambilan keputusan, pemanfaatan mekanisme cache, serta eksekusi tindakan mitigasi terhadap ancaman.



Gambar 4. 2 Flowchart Sistem

Gambar 4.2 menjelaskan cara kerja dari sistem Pengambilan Keputusan Berbasis *Multi-Source Cyber Threat Intelligence*. Proses diawali ketika sistem Wazuh mendeteksi perubahan pada folder yang dimonitor pada agent, selanjutnya Wazuh *agent* akan merekam *event* tersebut dan Wazuh *manager* akan menerima log dari *agent* yang menyatakan aktivitas mencurigakan pada sistem. Sistem akan melakukan normalisasi data log sehingga beberapa indikator seperti IOC (berupa hash atau IP), jenis *file* (hash atau ip), *path* dan nama file akan masuk kedalam antrian (*queue*) pengecekan.

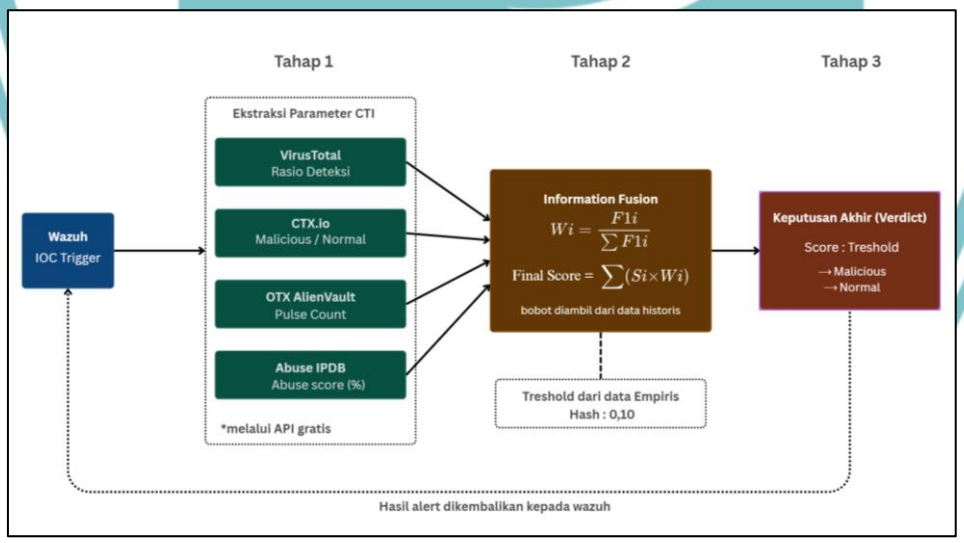
Jika log berupa IP yang berasal dari suricata maka akan dijalankan skema pengecekan dengan bobot IP, sedangkan bila *log* berupa hash yang berasal dari *file integrity manager* (FIM) maka akan dijalankan skema pengecekan dengan bobot hash. Apabila log bukan keduanya maka log tidak akan melalui proses pengecekan. Setelahnya sistem akan melakukan cek pada

cache untuk menentukan apakah IP atau hash sudah pernah diperiksa sebelumnya.

Apabila IP atau hash tersebut tidak berada pada cache maka proses pengecekan akan dimulai dimana IP atau hash akan dikirimkan kepada API gratis setiap vendor, log berupa ip akan dikirimkan dengan path yang berbeda dengan log hash sesuai dengan path API pada vendor. Hasil validasi diteruskan ke *scoring engine* untuk proses pengambilan keputusan. Apabila hasil dinyatakan *malicious* maka wazuh akan mengirimkan perintah pemblokiran dan menyimpan hasil keputusan pada cache. Detail mekanisme perhitungan skor dan pembobotan dijelaskan pada sub-bab 4.2.3.

4.2.3 Arsitektur Sistem Pengambilan Keputusan

Arsitektur Sistem pengambilan keputusan menjelaskan rancangan sistem yang menggabungkan berbagai parameter CTI dari berbagai sumber untuk menghasilkan keputusan akhir (*verdict*). Pendekatan pembobotan diadaptasi dari metode *Decision level fusion* yang dikemukakan di dalam jurnal *(Dong et al., 2025).* Arsitektur yang dimaksud digambarkan pada gambar berikut :



Gambar 4.3 Arsitektur Scoring Engine pada Sistem Pengambilan Keputusan

Setelah log teridentifikasi sebagai IP maupun hash oleh sistem pada tahap *normalisasi* yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.2.2, scoring *engine* mengambil alih proses pengambilan keputusan melalui tiga tahap utama

yaitu ekstraksi parameter, *information fus*ion, dan penetapan hasil keputusan akhir. Arsitektur *scoring engine* pada Gambar 4.3 melalui tiga tahapan proses,

Tahap pertama adalah tahap ekstraksi parameter CTI, dimana sistem melakukan kueri secara bersamaan kepada sumber CTI melalui API yang tersedia secara gratis untuk mendapatkan keputusan independen. Setiap sumber CTI memiliki parameter pengukuran yang berbeda sesuai karakteristik dari platformnya. VirusTotal menghasilkan rasio deteksi berupa jumlah dari vendor yang menandai input (IP atau hash) sebagai berbahaya dibandingkan dengan total vendor aktif, misalnya 45 dari 72 vendor, yang kemudian dinormalisasi menjadi skor reputasi dalam rentang 0 sampai 1 dengan membagi vendor yang mendeteksi dan total vendor. CTX.io menghasilkan keputusan biner antara 0 (*normal*) dan 1 (m*alicious*). OTX Alienvault menghasilkan jumlah pulse yang nantinya akan dinormalisasi hingga memiliki rentang 0 sampai 1 serta menghasilkan deskripsi dari Yara dan Cuckoo Sanbox misalnya 6: medium risk dan 12: malicious sebagai informasi tambahan terkait hash maupun IP yang diberikan pada sistem sebagai input. Abuse IPDB menghasilkan persentase skor kepercayaan penyalahgunaan IP dalam rentang 0-100% dan 0-1 ketika sudah dinormalisasi.

Tahap kedua adalah *information fusion,* di mana setiap *reputation score* yang sudah dinormalisasi dikalikan dengan bobot kepercayaan yang didapatkan melalui tahap perhitungan nilai F-1 *score* dari data historis terhadap masing-masing CTI, dengan begitu sumber dengan rekam jejak deteksi yang lebih baik akan memiliki pengaruh lebih besar untuk keputusan akhir

Tahap ketiga adalah tahapan terakhir dimana nilai fusi dibandingkan dengan nilai *threshold* yang ditetapkan secara empiris. Apabila *final score* melampaui *threshold* maka artefak tersebut dikategorikan sebagai *malicious* kemudian sistem akan mengirimkan perintah yang memicu *active response* kepada Wazuh, sebaliknya jika dinyatakan normal tidak ada tindakan yang

diambil. Pada tahap ini skema pembobotan mengalami pemisahan indikator antara IP dan Hash. Dimana hash menggunakan tiga CTI yaitu VirusTotal, CTX.io dan OTX sedangkan IP menggunakan indikator IP Abuse. Selain karena prosedur ini mengikuti kebutuhan operasional yang berjalan, indikator hash memiliki perilaku ancaman yang berbeda dengan IP sehingga dibutuhkan alat validasi CTI yang sesuai dengan konteks ancaman.

4.2.4 Penentuan Pembobotan *CTI*

Penentuan nilai pembobotan CTI dilakukan untuk merepresentasikan tingkat keandalan masing-masing sumber Cyber Threat Intelligence dalam mendeteksi indikator ancaman. Setiap platform CTI memiliki karakteristik, cakupan data, dan tingkat akurasi yang berbeda sehingga kontribusinya terhadap keputusan akhir tidak dapat dianggap sama. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme pembobotan yang mampu memberikan pengaruh lebih besar kepada sumber CTI yang memiliki kinerja deteksi lebih baik.

Sebelum nilai pembobotan ditentukan, terlebih dahulu dilakukan evaluasi terhadap kinerja masing-masing sumber CTI. Evaluasi ini bertujuan untuk mengukur kemampuan setiap platform dalam mengidentifikasi indikator ancaman berdasarkan data historis yang telah diberi label. Hasil evaluasi kemudian digunakan sebagai dasar dalam perhitungan nilai F1-Score yang selanjutnya dinormalisasi menjadi bobot pada proses information fusion. Dengan pendekatan ini, bobot yang diberikan kepada setiap CTI tidak ditentukan secara subjektif, melainkan berdasarkan performa deteksi yang diperoleh dari hasil pengujian.

A. Evaluasi Kinerja Per Sumber CTI

Evaluasi dilakukan melalui perhitungan jumlah IOC yang berhasil dideteksi sebagai *malicious* atau *normal* oleh masing-masing vendor CTI dari total 200 sampel. IoC akan dinyatakan terdeteksi apabila, VirusTotal memiliki jumlah vendor mendeteksi ancaman lebih dari 0/94 (nol per sembilan puluh empat), OTX memiliki jumlah *Pulse* lebih dari nol, CTX memiliki status *Malicious* dan Abuse IPDB memiliki skor diatas 0% (nol

persen). Penentuan ambang deteksi dilakukan secara konservatif untuk meminimalkan kemungkinan terlewatnya ancaman. Penetapan nilai terdeteksinya ancaman didasarkan pada literatur dan dokumentasi resmi dari setiap vendor CTI yang digunakan. Perhitungan didasarkan pada rumus F1 Score. Hasil perhitungan ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Tabel Pengujian Data Historis Hash

No.	Sumber CTI	TP	FP	FN	TN	*Precision*	*Recall*	F1-Score
1	Virus Total	100	6	0	94	0.943	1	0.971
2	CTX	98	0	2	100	1	0.980	0.990
3	OTX Alienvault	0	0	0	0	0	0	0
4	Abuse IPDB	0	0	0	0	0	0	0
Total		198	6	2	194	-	-	1.961

Sumber: Hasil analisis data penelitian (2026)

Berdasarkan Tabel 4.3, Virustotal memperoleh *recall* sempurna yang menunjukan kemampuannya mendeteksi hash malicious pada sampel, meskipun masih terdapat 6 *false positive* pada pada hash normal dengan deteksi minimal (1-2 *scoring engine*). CTX menunjukan hasil kesalahan pada 2 subjek normal yang sebenarnya bernilai *malicious*. Disisi lain OTX dan Abuse IPDB tidak mendeteksi kejanggalan apapun dan mengembalikan nilai nol. Hal ini dikarenakan skema pengecekan hash yang kurang cocok pada kedua platform tersebut, hal ini sesuai dengan karakteristik kedua CTI yang lebih unggul pada indikator IP dibanding hash.

Selain itu, ditemukan anomali pada pengujian di mana OTX mengembalikan nilai 50 pulse terhadap tiga file zip yang berlabel normal.

Tabel 4.4 Kesalahan klasifikasi pada OTX

No	SHA 256	Filename	Pulse	Ground Truth	Verdict OTX
1	e3b0c44298fc1c149afbf4c8996fb92427ae41e4649b934ca495991b7852b855	58371bfc36ec5f0d5b04249a66534ec2820f8708a671dfb9c4e575ca93d338f3.zip	50	Normal	Malicious

No	SHA 256	Filename	Pulse	Ground Truth	Verdict OTX
2	ada1a6a79228f596b1c87d5d42d4c02934750e044ed90c61338df469f2bbcd22	8ef77f5b654cd24325514fd2e71a079f8b990eed2df157b0f6eca23d10462590.zip	50	Normal	Malicious
3	aa238bf0ba0e16114b91ca3ab58aeeb600ca11f2cbc445200f027c35916f5af6	e8aeef930fc9dc8b44df1147e3ccd1ed5e9d414eaf378befa1266709295766cd.zip	50	Normal	Malicious

Tabel 4.4 menunjukan ketiga file zip tersebut merupakan kontainer dari proses pengunduhan melalui platform MalwareBazar sebagai *website* distribusi sampel *malware* untuk komunitas riset keamanan siber. Tingginya nilai pulse bukan disebabkan oleh kandungan berbahaya file zip itu sendiri, melainkan karena tingginya frekuensi akses dan referensi terhadap hash tersebut oleh peneliti yang menggunakan OTX sebagai platform berbagi intelijen. Kondisi ini mengakibatkan sistem memberikan verdict malicious terhadap file kontainer yang sebenarnya normal.

Hasil penemuan ini mengkonfirmasi bahwa OTX tidak sesuai digunakan sebagai sumber penilaian hash dalam konteks ini, dan menjadi dasar penetapan bobot OTX sebesar nol pada skema pembobotan hash. Meskipun demikian, informasi dari OTX seperti jumlah pulse dan tingkat keparahan tetap ditampilkan pada log sistem sebagai bahan pertimbangan tambahan bagi analis SOC dalam proses investigasi.

B. Penentuan nilai pembobotan hash

Setelah diperoleh hasil F1 Score dari masing-masing sumber, bobot dihitung dengan teknik normalisasi proporsional sehingga bobot berada pada rentang 0 sampai 1 dengan total seluruh sumber adalah 1.

Metode ini dipilih sehingga setiap sumber mendapatkan bobot yang merepresentasikan kemampuannya dalam mendeteksi serangan sesuai dengan arsitektur Multi-level Decision Level Fusion, dimana setiap sumber CTI diproses secara independen dan ditentukan bobotnya secara

proporsional. (Dong et al., 2025). Persamaan pembobotan adalah sebagai berikut:

$$Wi = \frac{F1i}{\sum F1}$$

Keterangan:

Wi = Bobot sumber CTI ke-i

F1i = F1 Score sumber CTI ke-i

$\sum F1$ = Total akumulasi F1

Penerapan dari rumus diatas menghasilkan bobot dari masing masing CTI sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analisis Skor Pembobotan

No.	Sumber CTI	F1-Score	Bobot (Wi)
1	VirusTotal	0,9712	0.4952
2	CTX	0.990	0.5048
3	OTX AlienVault	0	0
4	AbuseIPDB	0	0
Total		1,9612	1

Sumber: Hasil analisis data penelitian (2026)

Berdasarkan Tabel 4.5, ditentukan bobot tertinggi adalah bobot CTX dengan bobot (0.5048) sedangkan virustotal dengan bobot (0.4952). Dengan hasil ini maka analisis hash hanya didasarkan pada dua vendor CTI yaitu Virustotal dan CTX.io.

C. Penetapan Threshold Klasifikasi

Karena bobot OTX dan AbuseIPDB bernilai nol, presamaan disederhanakan menjadi:

Final Score = (s_VT x 0,4952) + (s_CTX x 0.5048)

Keterangan : s = nilai normalisasi CTI

D. Penentuan Threshold Multi-Source CTI

Sebelum nilai treshold ditetapkan, dilakukan analisis distribusi final score dari 200 sampel berlabel untuk mengidentifikasi rentang alami antara kelas *malicious* dan normal. Pendekatan berbasis distribusi empiris ini mengikuti prisnsip moustafa et al (2021) bahwa penetapan nilai treshold yang optimal dalam sistem deteksi harus mempertimbangkan karakter dari data aktual. Hasil analisis disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Analisis Rentang Pembobotan

No	Rentang Skor	Malicious	Normal	Total	Keterangan
1	0.00 – 0.05	0	100	100	Dominan Normal
2	0.05 – 0.10	0	0	0	Zona Transisi
3	0.10 – 0.50	2	0	2	Mulai terdeteksi malicious
4	0.50 – 0.75	23	0	23	Dominan Malicious
5	0.75 – 1.00	75	0	75	Murni Malicious
Total		100	100	200	

Berdasarkan Tabel 4.6, terdapat pemisahan data antara kelas *normal* dan *malicious.* Pada rentang (0.0 - 0.5) terdapat 95 data normal murni yaitu yang tidak terdeteksi oleh virustotal (0/0) maupun CTX (Normal), sehingga hasil skornya bernilai nol. Pada rentang (0.5 - 0.10) terdapat 6 data normal dengan deteksi VT yang rendah yaitu 1 – 2 *engine* mendeteksi dari total 47-62 *engine* yang ada namun CTX tetap normal, sehingga menghasilkan final score 0.016 - 0.047. Sedagkan nilai deteksi *malicious* memiliki batas atas 0.1 dan *final score malicious* berada pada rentang (0.5 - 1.0) karena selain mendeteksi hasil positif dari virustotal, seluruhnya juga dinilai *malicious* oleh CTX.

Berdasarkan distribusi tersebut nilai *threshold* untuk hash ditetapkan adalah 0,10 (nol koma sepuluh). Nilai ini dipilih karena terdapat gap alami yang sangat besarantara skor tertinggi kelas normal (0,047) dan skor terendah kelas *malicious (0,507),* sehingga penetapan t*hreshold* yang digunakan adalah 0,10 untuk meminimalkan hash *malicious* yang terlewat dan meminimalkan *false positive*.

4.3 Implementasi Sistem

Implementasi sistem mencakup seluruh komponen yang telah dirancang pada tahap sebelumnya, meliputi konfigurasi Wazuh Manager, integrasi modul Multi-CTI, implementasi mekanisme *rate limiting* dan *retry*, serta implementasi monitoring dan visualisasi pada Wazuh.

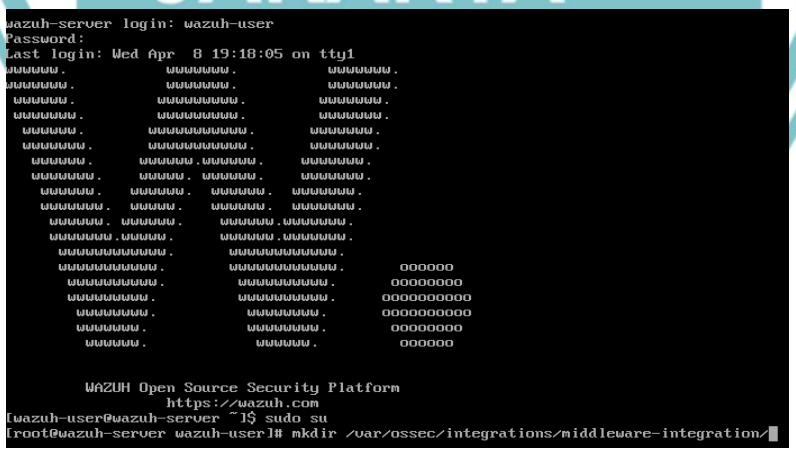
4.3.1 Implementasi Konfigurasi Wazuh Manager dan Integrasi Multi CTI

Wazuh Manager adalah pusat kendali dari sistem pengambilan keputusan. Penelitian ini menggunakan wazuh ova versi v4.14.1. Virtual machine Wazuh manager dikonfigurasi agar dapat menerima log berbasis JSON dari agen, menganalisisnya dengan menggunakan modul Multi-CTI berbasis fusi data, dan menjalankan skrip active respon untuk melakukan mitigasi otomatis ketika ancaman berhasil divalidasi.

A. Persiapan Lingkungan Eksekusi Modul CTI (Middleware)

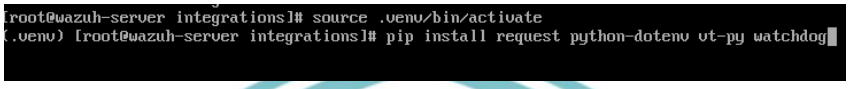
Sistem fusi CTI yang dikembangkan berjalan sebagai middleware eksternal yang memantau peringatan (*alerts*) dari Wazuh dan memperkayanya (enrichment) dengan data dari berbagai sumber intelijen ancaman. Guna memastikan isolasi dependensi, disiapkan sebuah lingkungan virtual Python pada direktori integrasi Wazuh. Rangkaian perintah yang dieksekusi pada terminal adalah sebagai berikut:

1. Integrasi pada virtual environment



Gambar 4.4 Tampilan Wazuh v4.14.1 OVA

Gambar 4.4 adalah tampilan awal dari virtual machine wazuh ova sebagai pusat kendali dari sistem usulan. Untuk menghindari konflik dari konfigurasi yang akan digunakan maka dibuat folder bernama middleware-integration sebagai folder utama konfigurasi sistem.



Gambar 4.5 Library Python

Beberapa *library python* yang digunakan oleh sistem untuk menjalankan tugasnya. Diantaranya yaitu, modul request, python-dotenv, dan vt-py.

2. Penempatan *Script* CTI dan *Monitor*

Skrip utama yang terdiri dari mesin penilaian (scoring engine) dan pemantau log (wazuh_monitor.py) ditempatkan di dalam direktori /var/ossec/integrations/ middleware-integration/. Skrip main_scoring.py bertugas mengkalkulasi bobot ancaman dari berbagai sumber (seperti VirusTotal, AlienVault OTX, dan AbuseIPDB), sedangkan wazuh_monitor.py bertugas membaca *file* /var/ossec/logs/alerts/alerts.json secara real-time untuk menangkap peringatan yang dihasilkan oleh agen. Untuk menghubungi setiap vendor melalui API semua aktivitas request dan normalisasi response tersimpan pada folder checkers. Berikut adalah struktur folder dari sistem yang diusulkan:

```
var/ossec/integrations/middleware-integration/
├── checkers/
│   ├── __init__.py
│   ├── abuseipdb.py
│   ├── ctx.py
│   ├── otx.py
│   └── virustotal.py
├── log/
```

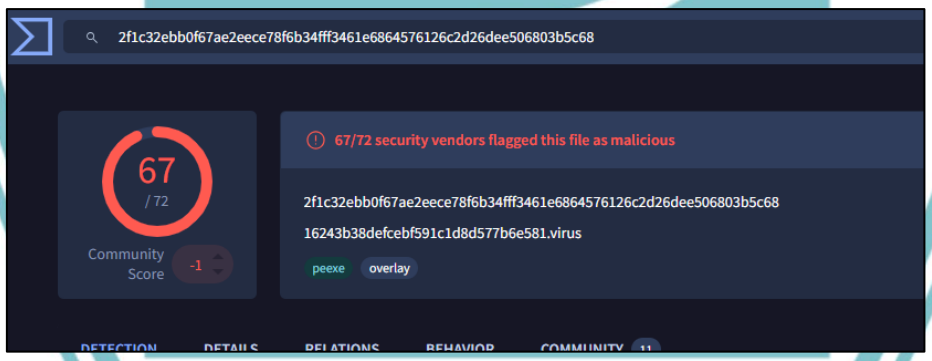
```
├──.env
├── cti_cache.json
└── main_scoring.py
```

4.3.2 Ekstraksi Skor dari Masing-Masing CTI

Tahap pertama dalam alur sistem pengambilan keputusan adalah pengumpulan *verdict* dari setiap platform CTI yang terintegrasi. Ketika wazuh_monitor.py mendeteksi alert baru pada file alerts.json, sistem secara otomatis mengekstraksi indikator berupa hash SHA-256 atau IP dari log tersebut. Indikator yang telah diekstraksi kemudian dikirimkan secara paralel kepada empat modul CTI yang terdapat pada folder checkers/, yaitu virustotal.py, ctx.py, otx.py ,dan abuseipdb.py. Ekstraksi *Reputation Score* VirusTotal.

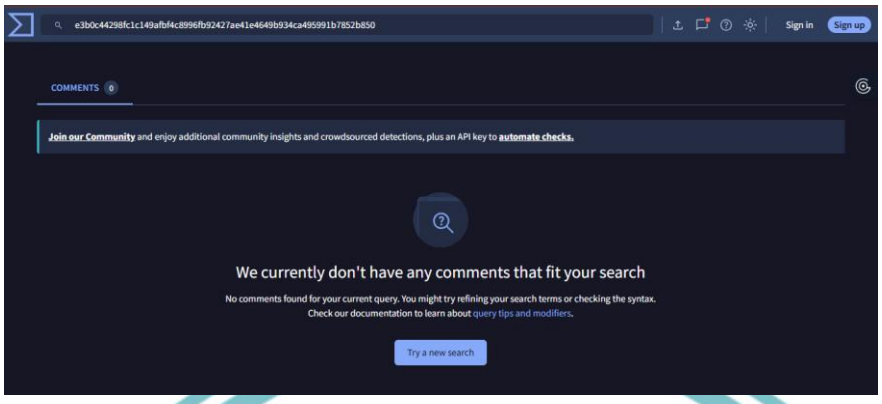
A. Ekstraksi *Reputation Score* pada VirusTotal

Virustotal mengembalikan data dalam format berupa rasio jumlah mesin antivirus yang mendeteksi ancaman terhadap total mesin yang aktif, contohnya ditunjukan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Halaman website Virustotal Saat Mendetksi Malware

Gambar 4.6 adalah hasil tangkapan layar dari *website* VirusTotal. Untuk menentukan apakah hash dari suatu file bernilai *malicious.* SOC *analyst* menggunakan *reputation score* sebagai acuan, pada gambar skor reputasi ditunjukan dengan nilai 67/72 yang berarti 67 dari total 72 mesin menyatakan bahwa IOC tersebut berbahaya. Semakin tinggi nilai pendeteksian terhadap jumlah mesin yang terdeteksi mengindikasikan bahwa *file* memang merupakan *file* yang berbahaya.

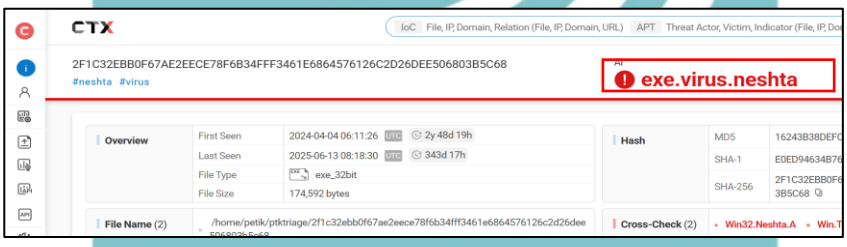


Gambar 4.7 Halaman website Virustotal Saat tidak Mendetksi Malware

Contoh tampilan website virus total apabila tidak ditemukan adanya *malware* ditunjukan pada Gambar 4.7 jika file tidak ditemukan maka nilai normalisasi menjadi nol.

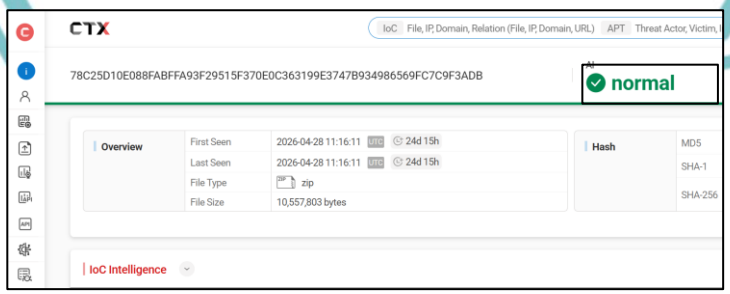
B. Ekstraksi *Local Decision* pada CTX.io

Platform CTX.io mengembalikan data berupa nama *malware* terdeteksi dalam format string, contohnya dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Tangkapan Layar dari Website CTX.io Mendeteksi Malware

Gambar 4.8 diketahui nama deteksi yaitu exe.virus.neshta untuk IOC dinyatakan berbahaya sedangkan null dan normal dinyatakan aman. Contoh pendeteksian aman ditunjukan pada Gambar 4.9.

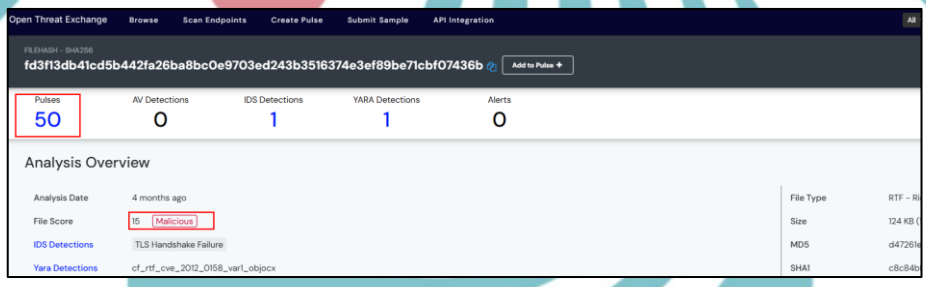


Gambar 4.9 Tangkapan Layar dari Website CTX.io Normal

CTX.io tidak mengembalikan status seperti *malicious* ataupun Normal dari file *responnya* sehingga nama pendeteksian menjadi acuan dalam mengetahui bahwa respon. Nama deteksi dari CTX juga diekstraksi dan ditempatkan secara terpisah pada log dan disimpan dalam baris *ctx_name* sebagai informasi tambahan.

C. Ekstraksi *Description* pada OTX

Paltform OTX mengembalikan data dalam format string mengandung deskripsi dari jumlah *pulse,* skor *cuckoo,* dan verdict YARA. Ekstraksi fitur dari platform OTX ditekankan pada analisis deskriptif dari ketiga indikator tersebut.

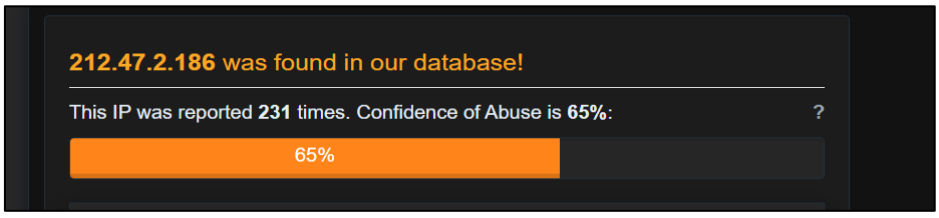


Gambar 4.10 Tangkapan Layar dari Website OTX

Gambar 4.10 merupakan tangkapan layar dari website OTX. OTX mengembalikan nilai 50 pulse dan file score 15 *Malicious,* sistem mengekstraksi kedua indikator ini untuk ditampilkan pada log dan disimpan dalam baris otx_Severity.

D. Ekstraksi *score* pada Abuse IPDB

Sistem mengekstraksi parameter utama berupa nilai abuseConfidenceScore yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan merepresentasikan tingkat keyakinan komunitas bahwa alamat IP tersebut terlibat dalam aktivitas berbahaya.



Gambar 4.11 *Tangkapan Layar Abuse IPDB*

Nilai skor reputasi dinyatakan dalam bentuk persentase dengan rentang 0 hingga 100 persen, di mana semakin tinggi nilainya mengindikasikan semakin besar kemungkinan IP tersebut merupakan sumber ancaman aktif yang telah dilaporkan oleh banyak kontributor.

4.3.3 Normalisasi Data

Tahap kedua dalam alur sistem pengambilan keputusan adalah normalisasi data hasil keputusan lokal setiap CTI. Normalisasi data dilakukan karena setiap platform CTI mengembalikan data dalam format yang berbeda-beda sehingga diperlukan proses normalisasi untuk mengubah seluruh output menjadi nilai numerik dalam rentang 0 hingga 1. Proses normalisasi diimplementasikan secara terpisah pada file main_scoring.py dengan ketentuan sebagai berikut:

A. Normalisasi VirusTotal

VirusTotal mengembalikan data berupa rasio jumlah *engine* yang mendeteksi ancaman terhadap total *engine* aktif. Sistem mengkesktraksi kedua angka pada skor reputasi dan menggunakan pencocokan regex dari *response*.json.

Normalisasi dilakukan dengan membagi jumlah *engine* yang mendeteksi *malicious* dengan total *engine* aktif. Sebagai contoh, jika VirusTotal mengembalikan nilai 67/72, maka nilai normalisasi yang dihasilkan adalah 0,9306. Apabila VirusTotal mengembalikan nilai not found atau 0/0, maka nilai normalisasi ditetapkan sebesar 0.

B. Normalisasi CTX.io

Sistem menerapkan normalisasi biner, apabila string yang dikembalikan memiliki kata kunci seperti normal, not found, none, atau error, nilai normalisasi ditetapkan adalah nol sedangkan nilai lainnya dianggap malicious dan dinormalisasi menjadi 1.

C. Normalisasi OTX

OTX mengembalikan jumlah *pulse* dan deskripsi *severity*. Pada penelitian ini OTX tidak dimasukkan ke dalam bobot perhitungan karena

ketidakcocokan skema pengecekan hash, namun hasil normalisasinya tetap ditampilkan pada log sebagai informasi tambahan bagi analis SOC.

D. Normalisasi Abuse IPDB

Normalisasi dilakukan dengan membagi nilai abuseConfidenceScore yang diperoleh dengan nilai maksimum skala persentase yaitu 100. Sebagai contoh, apabila Abuse IPDB mengembalikan nilai abuseConfidenceScore sebesar 65, maka nilai normalisasi yang dihasilkan adalah 0,65. Nilai ini mengindikasikan tingginya tingkat keyakinan komunitas bahwa IP tersebut merupakan sumber ancaman. Sebaliknya, apabila mengembalikan nilai 0, maka nilai normalisasi menjadi 0 yang berarti tidak ditemukan riwayat penyalahgunaan pada IP tersebut dalam basis data komunitas Abuse IPDB.

4.3.4 Pengambilan Keputusan

Setelah seluruh nilai normalisasi diperoleh, tahap selanjutnya adalah proses pengambilan keputusan menggunakan metode *Decision Level Fusion*. Setiap nilai normalisasi dikalikan dengan bobot kepercayaan masing-masing CTI yang telah ditetapkan berdasarkan hasil perhitungan F1-Score pada data historis.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung final score pada indikator hash adalah sebagai berikut:

$$\text{Final Score} = (s\_VT \times 0{,}4952) + (s\_CTX \times 0.5048)$$

Keterangan :

s_VT = nilai normalisasi VirusTotal

s_CTX = nilai normalisasi CTX.io

0,4952 = bobot VirusTotal berdasarkan F1-Score historis

0,5048 = bobot CTX.io berdasarkan F1-Score historis

Setelah *final score* diperoleh dari persamaan tersebut, nilai yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan nilai *threshold* yang telah ditetapkan

secara yaitu sebesar 0,10. Apabila *final score* melampaui nilai *threshold* tersebut maka sistem menetapkan verdict *MALICIOUS* dan secara otomatis memicu *active response* berupa pemblokiran alamat IP berbahaya melalui Mikrotik Router yang terhubung dalam topologi jaringan sistem. Sebaliknya, apabila *final score* berada pada nilai sama dengan atau di bawah *threshold*, sistem menetapkan verdict NORMAL dan tidak mengambil tindakan pemblokiran apapun terhadap alamat IP yang bersangkutan.

Bukti fungsionalitas dari arsitektur mitigasi otomatis ini dapat diamati melalui rekaman log pada sistem. Gambar 4.12 yang merepresentasikan log aktivitas pada sisi agen saat mendeteksi dan meremediasi hash sampel EICAR.txt.

```
[!] Trigger [FIM] → eicar.com.txt
    Hash : 275a021bbfb6489e54d47189...
    Path : /home/agent/Downloads/eicar.com.txt
DEBUG [eicar.com.txt]: Sebelum analysis (Memulai CTI Request...)
DEBUG [eicar.com.txt]: Sesudah analysis (CTI Request Selesai!)
{
  "timestamp": "2026-05-14T13:14:52.898486",
  "target": {
    "file_hash": "275a021bbfb6489e54d471899f7db9d1663fc695ec2fe2a2c4538aabf651fd0f",
    "filename": "eicar.com.txt",
    "path": "/home/agent/Downloads/eicar.com.txt",
    "src_ip": "127.0.0.1",
    "dst_ip": "127.0.0.1",
    "agent_id": "004"
  },
  "scores": {
    "final_score": 0.6599,
    "status": "MALICIOUS",
    "severity": "high"
  },
  "details": {
    "source": "fim",
    "vt_hash_norm": 0.9701,
    "ctx_hash_norm": 1.0,
    "otx_severity": "49 pulses score:6 Medium Risk",
    "ctx_name": "txt.virus.eicar",
    "hash_score": 0.6599,
    "hash_status": "MALICIOUS",
    "hash_severity": "high"
  }
}

[*] [SOAR] Mengubah strategi: Menggunakan Jalur Log Internal Wazuh...
✅ [SOAR] Sukses! Surat perintah penghapusan diserahkan ke Rule Engine Wazuh.
```

Gambar 4.12 *Log scan Active Response* pada agen

Gambar 4.11 merupakan log pendeteksian yang didapatkan setelah agen mengunduh *file sample malware* eicar.txt. Berdasarkan gambar tersebut terdapat empat bagian utama dari log hasil yaitu *timestamp*, target, *scores*, dan *details*. Bagian pertama adalah *timestamp* yang merupakan waktu pertama kali log muncul pada sistem dengan format tahun, bulan, dan tanggal, serta jam hingga detik.

Bagian kedua yaitu target, berisi informasi terkait indikator yang digunakan oleh sistem untuk menentukan keputusan pemblokiran, yaitu berupa file hash, file name, path, dan agent id. Indikator hash dan IP digunakan untuk melakukan kueri pada API dari masing-masing CTI yang digunakan, sedangkan indikator lainnya digunakan untuk melakukan proses mitigasi dari file.

Bagian ketiga adalah *scores*, berisi skor akhir dari normalisasi serta pembobotan yang dilakukan oleh sistem. Hasil dari bagian ini digunakan untuk menentukan aksi yang akan dilakukan. Berdasarkan gambar 4. Diketahui bahwa skor akhir adalah 0.6599. Skor ini melampaui *threshold* yang ditentukan yaitu 0.10 dan memicu aksi penghapusan file pada *agent*.

Bagian terakhir adalah *details*. Bagian ini berisi informasi detil terkait skor reputasi dan hasil kueri dari setiap CTI yang digunakan dengan berisi sumber, hasil normalisasi dari virustotal dan CTX.io, hash status yang merupakan verdict dari sistem yaitu malicious, dan severity atau tingkat ancaman tinggi (high).

Skor yang ditunjukan pada gambar 4. menunjukan angka 0.9071 pada vendor virus total, hal ini menandakan mayoritas agen pada virus total menyetujui bahwa file merupakan suatu ancaman. Begitupun dengan CTX yang menunjukan score 1 menandakan hasil keuputsan vendor adalah "*malicious*" dengan *family treath* "txt.virus.eicar". Selain itu *enrichment* dilakukan oleh OTX dengan memberikan informasi tambahan yaitu 49 *pulse* yang berarti aktivitas file di internet tinggi dan memberikan skor "6:

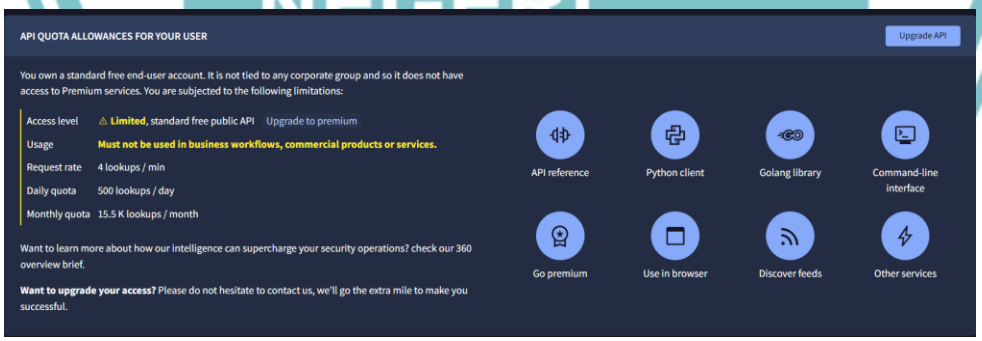
medium risk" serta mengkonfirmasi sistem untuk melakukan tindakan remediasi berupa penghapusan *file*.

Sistem merespons log dari wazuh dan berhasil melakukan kueri kepada tiga API yang digunakan, hal ini ditunjukan pada bagian details dimana terdapat hasil normalisasi dari virustotal dan CTX, selain itu API dari OTX juga berhasil memberikan respon berupa status "49 pulses score:6 Medium Risk" meskipun tidak termasuk kedalam bobot hal ini dapat digunakan untuk memperkaya log yang dihasilkan dan dapat menjadi bahan evaluasi oleh SOC analis.

4.3.5 Implementasi Rate Limiting dan Retry pada API Modul CTI

Modul-modul pada *checkers* yang digunakan untuk mengekstraksi fitur dari setiap CTI terkait dilengkapi oleh mekanisme penanganan API (*rate limiting*) dan percobaan ulang secara otomatis (retry) untuk memastikan keandalan sistem saat beroperasi secara bersamaan.

Pada modul VirusTotal, terdapat pembatasan terhadap jumlah *request* yang dapat dipanggil dalam satu menit. VirusTotal menetapkan *rate limiting* sebanyak 4 *request* per menit untuk setiap akun yang berarti satu API key hanya dapat mengirimkan 4 request dalam satu menit. Pembatasan ini dijelaskan pada halaman *website* virustotal pada bagian API *key*.



Gambar 4.13 Rate limit pada Platform VirusTotal

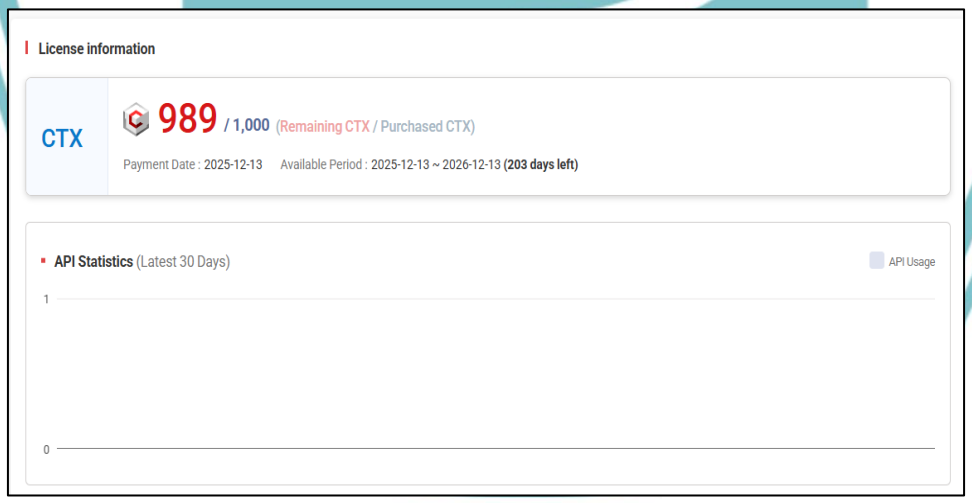
(Sumber: https://www.virustotal.com/gui/user/.../apikey diakses pada Selasa 20 Januari, 2026)

Pada Gambar 4.13 mengenai *rate limit* pada CTI VirusTotal dijelaskan eksplisit jumlah dari *lookup* atau *request* yang dapat digunakan dalam

rentang waktu tertentu oleh satu akun, yaitu 4 *lookup* / menit, 500 *lookup* / hari dan 15.500 *lookup* / tahun. Untuk mengatasi batasan ini, sistem mengimplementasikan rotasi kunci API menggunakan mekanisme *cycle()*.

Implementasi dari mekanisme tersebut membuat sistem dapat mencatat waktu setiap *request* dalam antrian dan menghitung jumlah permintaan dalam waktu 60 detik terakhir sebelum diputuskan apakah sistem harus mengirim *request* atau menunggu pengiriman *request*. Dengan empat API key yang digunakan, sistem dapat mengirimkan 16 *request* dalam satu menit tanpa melanggar batas yang ditetapkan. Apabila kunci harian habis maka tugas akan dialihkan pada API berikutnya. Selain itu diterapkan mekanisme pertambahan waktu jika *request* gagal ditambah dengan jitter *random* sehingga tidak terjadi *colusion* data pada request yang dikirimkan.

Pada modul CTX, mekanisme *retry* juga diterapkan apabila server mengembalikan kode *request* 429 yang menandakan bahwa *rate limit* tercapai, sistem akan menunggu 2 detik dan menambahkan waktu tunggu pada setiap percobaan berikutnya.



Gambar 4.14 Tangkapan layar dari Limitasi API pada CTX

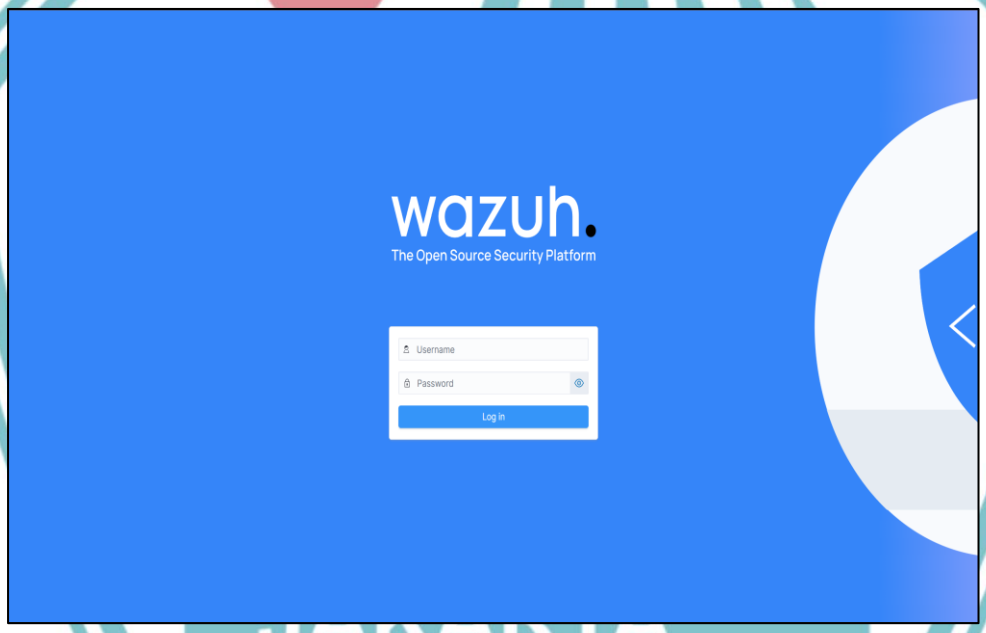
(Sumber: https://www.ctx.io/manage/api/dashboard diakses pada Selasa 20 Januari, 2026)

Gambar 4.14 adalah tangkapan layar dari menu *dashboard* API CTX. Limitasi dari API gratis pada platform CTX.io adalah 1000 *request* per

tahun. Pada Modul OTX, apabila didapati kode 429 pada respon API mekanisme *retry* dibatasi hingga tiga kali percobaan dan menambahkan jumlah waktu tunggu untuk pemanggilan berikutnya, apabila setelah semua percobaan dilakukan dan tetap tidak menerima hasil sistem akan mengembalikan nilai eror.

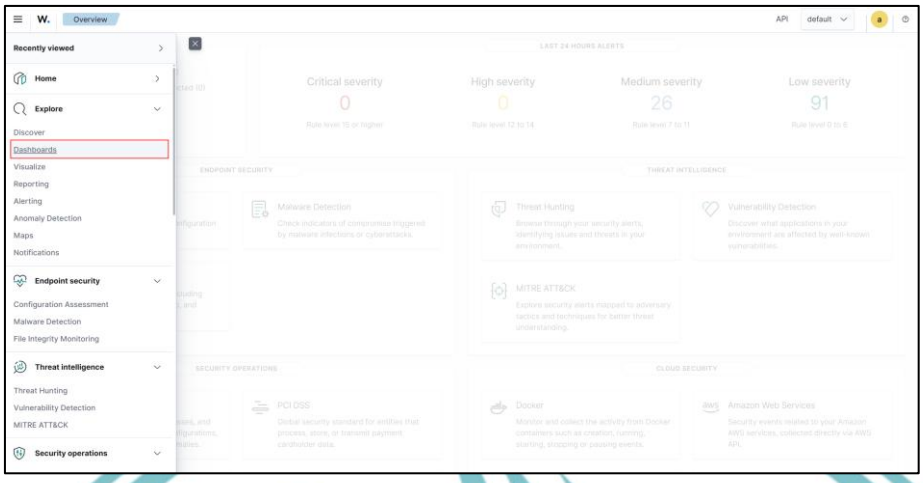
4.3.6 Implementasi Monitoring dan Visualisasi Log

Untuk mempermudah proses *monitoring* dari hasil *scan* CTI, log hasil analisis divisualisasikan melalui *dashboard* OpenSearch pada Wazuh. Nama dari *dashboard* ini adalah Multi CTI dashboard dan dibuat melalui fitur Dashboard pada *website* bawaan Wazuh.



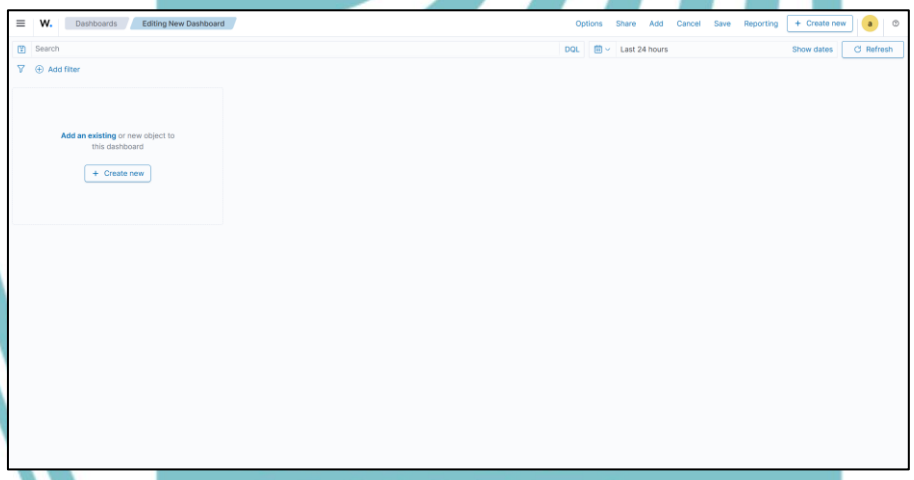
Gambar 4.15 Tangkapan layar dari Halaman Login Wazuh

Gambar 4.15 menampilkan tangkapan layar dari halaman Wazuh pada *website* yang dapat diakses melalui IP lokal pada *search engine* seperti *google* dengan mengetik *https://(IPLokalVirtualMachineWazuh)*. Untuk menampilkan menu *dashboard,* setelah berhasil *login* pengguna dapat menekan tombol tiga bar pada sisi kiri atas layar dan akan menampilkan tampilan seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.16 Tangkapan Layar dari Halaman Utama Wazuh

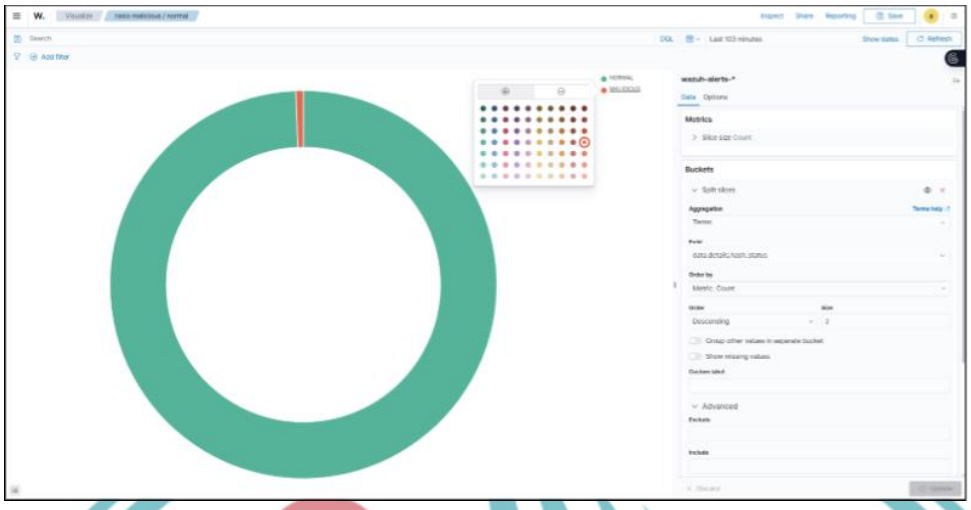
Untuk melakukan konfigurasi pada *dashboard* pengguna dapat memilih menu Dashboard dan akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4.16.



Gambar 4.17 Tangkapan Layar dari Menu Dashboard

Visualisasi dibuat menggunakan fitur *create new* seperti yang ada pada Gambar 4.1 menyediakan berbagai tipe bagan. Pada sistem ini digunakan beberapa jenis bagan diantaranya adalah, Donut *chart*, *metric*, *data table*, dan Bar *chart*. Setiap visualisasi menggunakan indeks **wazuh-alerts-*** sebagai sumber data. Berikut adalah rincian setiap visualisasi dari konfigurasi *dashboard* pada wazuh:

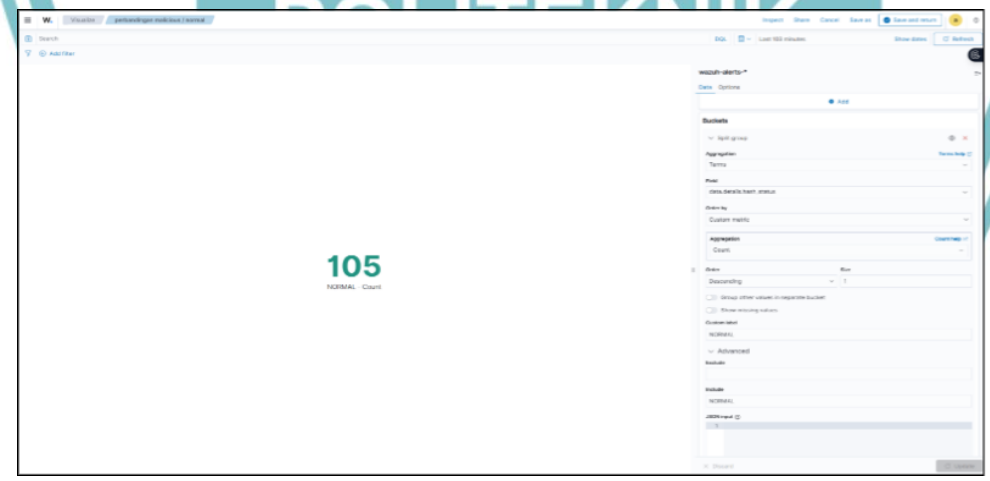
A. Visualisasi Donut Chart berisi Perbandingan Rasio Normal dan *Malicious*



Gambar 4.18 Visualisasi label hasil keputusan

Visualisasi pertama dapat dilihat pada Gambar 4.18 berupa D*onut Chart* yang menampilkan perbandingan indikator event dengan status NORMAL dan *MALICIOUS*. Konfigurasi dilakukan pada menu *bucket* dengan menggunakan perbandingan metrik pada field "data.details.hash_status" dengan ukuran 2 dan diurutkan berdasarkan metrik *count.* Label *custom* dikonfigurasi dengan memasukan label "*verdict"*.

B. Visualisasi Metrik Normal Count

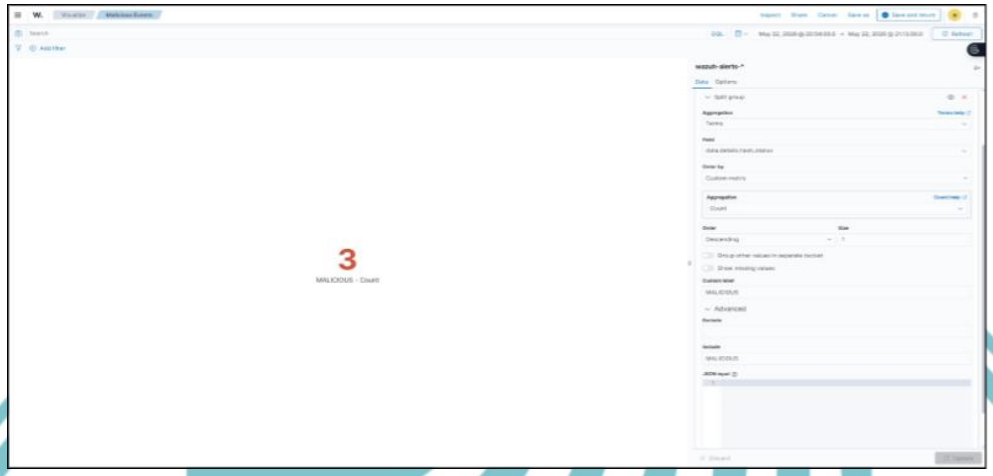


Gambar 4.19 Visualisasi Metrik NORMAL

Pada Gambar 4.19. ditampilkan konfigurasi untuk menampilkan jumlah total *event* yang diklasifikasikan sebagai NORMAL. *Bucket* menggunakan

agregation : count, Terms pada *field* "data.details.hash_status" dan pada menu *advance* digunakan *custom label* NORMAL.

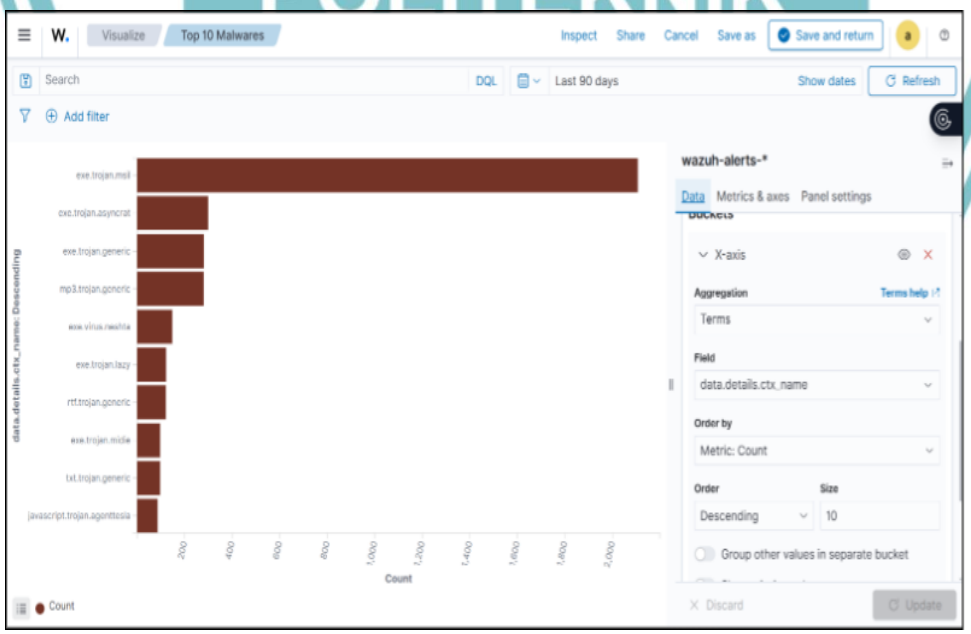
C. Visualisasi Metrik *Malicious* Count



Gambar 4.20 Visualisasi Metrik *MALICIOUS*

Pada Gambar 4.20 ditampilkan konfigurasi untuk menampilkan jumlah total *event* yang diklasifikasikan sebagai *MALICIOUS*. *Bucket* menggunakan *agregation: count, Terms* pada *field* "data.details.hash_status" dan pada menu *advance* digunakan *custom label MALICIOUS*.

D. Visualisasi *Bar Chart*



Gambar 4.21 Visualisasi Top 10 *Malware* yang Berhasil Terdeteksi

Gambar 4.21 menampilkan konfigurasi Bar chart untuk menampilkan 10 *malware* teratas berdasarkan frekuensi dari munculnya *malware* pada Wazuh *agent*. Konfigurasi yang dilakukan menggunakan sumbu x dengan *Agregation: Terms, field*: *data.details.ctx_name, dan* diurutkan berdasarkan *metric*: *count* secara *descending* dengan ukuran 10.

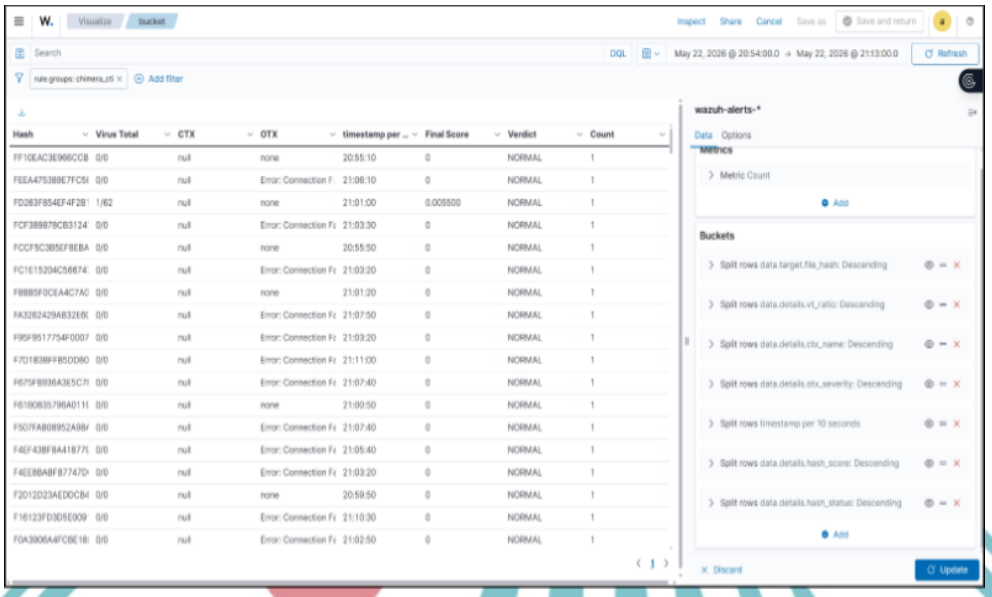
E. Visualisasi Data Table Log Sistem

Visualisasi pada data table log sistem berisi detail terkait alert yang terbentuk dari hasil validasi. Visualisasi pada data table log sistem menjadi visualisasi utama yang dikonfigurasi untuk menampilkan detail lengkap setiap hasil validasi dari sistem pengambilan keputusan agar dapat dimonitoring oleh analis SOC. Visualisasi log alert pada tabel menggunakan struktur split row dengan konfigurasi yang dapat dilihat dalam tabel Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel Konfigurasi Data Table

No.	Field	Agregation	Custom Label
1.	*data.target.file_hash*	*Terms, Size 1000, Alphabetical*	Hash
2.	*data.details.vt_ratio*	*Terms, size 100, Alphabetical*	Virus Total
3.	*data.details.ctx_name*	*Terms, size 100, Alphabetical*	CTX
4.	*data.details.otx_severity*	*Terms, size 100, Alphabetical*	OTX
5.	*Timestamp*	*Date, Histogram, interval 1 detik*	*Timestamp*
6.	*data.details.hash_score*	*Terms, size 100, Alphabetical*	*Final Score*
7.	*data.details.hash_status*	*Terms, size 2, Count*	*Verdict*

Tabel 4.7 merupakan konfigurasi yang digunakan untuk menampilkan detail terkait event terbaru, sehingga menghasilkan visualisasi seperti pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Visualisasi Tabel Detail Event

Konfigurasi visualisasi menghasilkan tampilan tabel yang lebih mudah di *monitor* dibandingkan melalui log langsung pada terminal dan sudah memuat informasi terkait *hash file,* rasio deteksi dari VirusTotal, nama *malware* dari CTX, deskripsi tambahan dari OTC, waktu dilakukannya *scan*, dan hasil keputusan akhir (*verdict*) dari sistem pengambilan keputusan berbasis Multi-Source Cyber Threat Intelligence pada Wazuh SIEM.

4.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui mekanisme sistem pengambilan keputusan berbasis Multi-Source CTI mampu menghasilkan keputusan keamanan dan automated *active response* yang sesuai pada lingkungan Wazuh. Pengujian dibagi kedalam tiga tahap yaitu Pengujian validasi keputusan berdasarkan *ground truth* dan pengujian waktu respons.

4.4.1 Deskripsi Pengujian Sistem

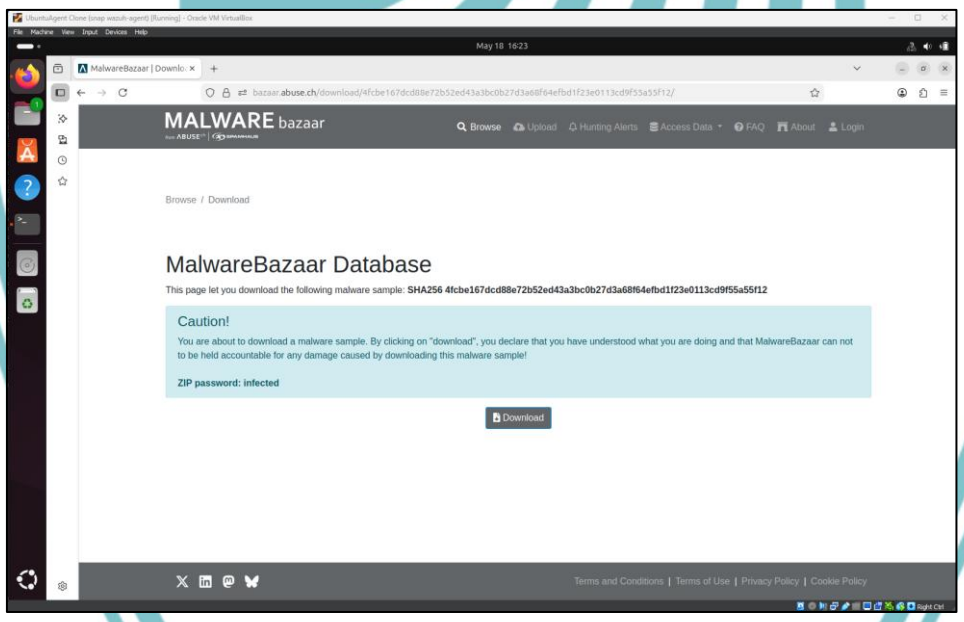
Pengujian dilakukan dengan melakukan injeksi sampel uji berupa file yang akan menghasilkan indiktor berupa log yang mengandung hash sha 256 maupun IP. Kumpulan data sejumlah 188 *file malicious* dan 240 file normal yang berbeda dari data awal pembobotan. Pengumpulan Indikator Kompromi (IoC) ini didapatkan melalui hasil investigasi ancaman terbaru bersama analis *Security Operations Center* Tingkat 2 (SOC L2). Proses

treath hunting memanfaatkan platform *malware sandbox* Joe Sandbox guna memastikan bahwa dataset yang diujikan relevan. Penggunaan sampel tervalidasi ini bertujuan untuk menguji sistem mendekati kondisi operasional lapangan.

4.4.2 Prosedur Pengujian

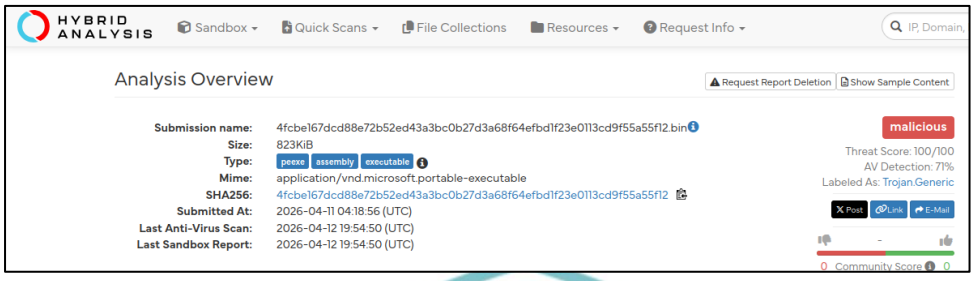
A. Pengujian Validasi Keputusan Berdasarkan *Ground Truth*

Data pengujian yang didapatkan melalui aktivitas *treath hun*ting pada Joe Sanbox memiliki sampel *file* yang dapat diakses pada platform website lain seperti Malware Bazar. Pengujian akan dilakukan dengan mengunduh *file* sample malicious melalui website yang dimaksud. Alur ini mensimulasikan kejadian dimana user melakukan pengunduhan pada file berbahaya dari *website* sampel pada lingkungan agent.



Gambar 4.23 Simulasi Download File melalui Website Malware Bazar

Hasil *treath hunting* mendapati sebuah file *malicious* dengan hash *4fcbe167dcd88e72b52ed43a3bc0b27d3a68f64efbd1f23e0113cd9f55a55f12* yang terindikasi sebagai *malware* dari *familly Asyncrat, hash* ini merupakan sebuah *malware Remote Access Trojan* (RAT). RAT dirancang untuk memungkinkan penyerang mengendalikan komputer dari jarak jauh, mirip dengan cara *Remote Desktop Protocol* (RDP) dan *TeamViewer* digunakan untuk akses jarak jauh atau administrasi sistem.



Gambar 4.24 Informasi Lebih Rinci Terkait Hash Pengujian Ketepatan Sistem

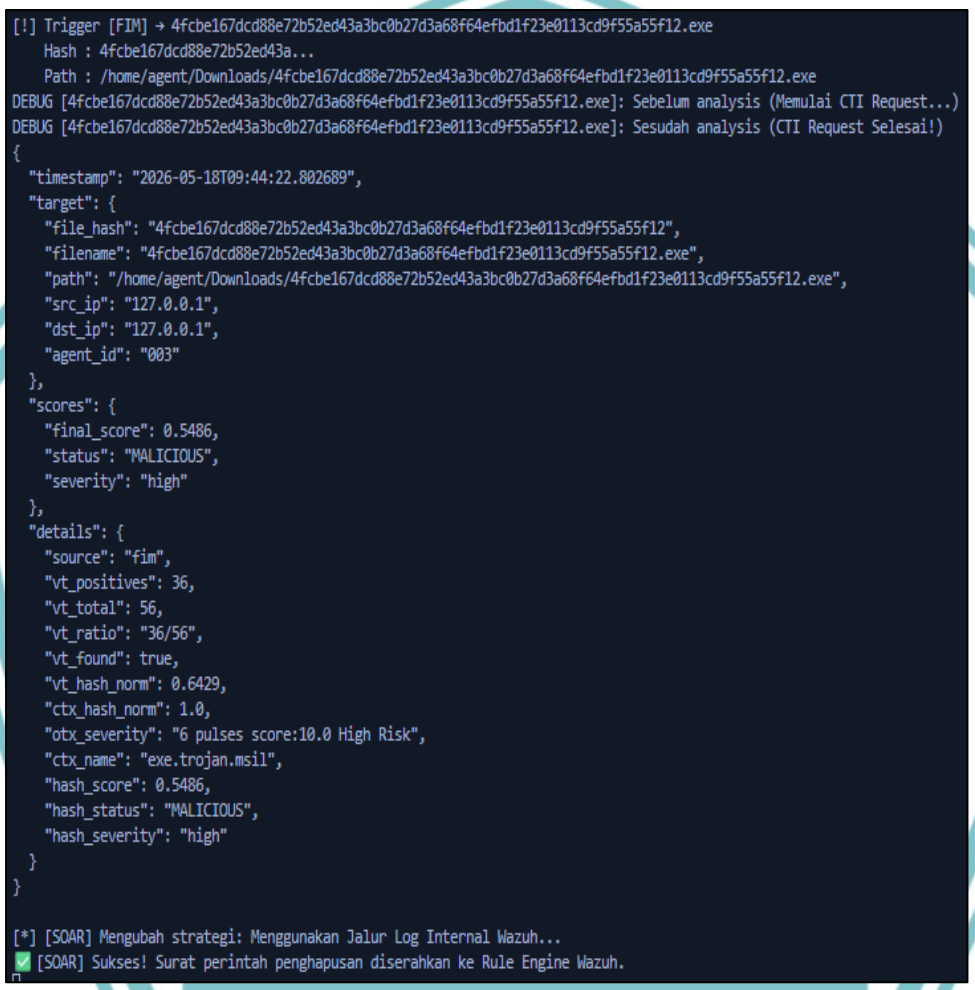
Berdasarkan Gambar 4.24 yang merupakan informasi lebih rinci terkait hash yang dimaksud, *file* ini dilaporkan pertama kali pada tahun 2026 bulan April tanggal 11. Informasi ini mengkonfirmasi bahwa file baru ditemukan sebagai suatu ancaman yang relevan dengan waktu pengujian. Selanjutnya setelah file diunduh dari *website* Malware Bazar file muncul pada folder *downloads* dengan format zip.

Segera setelah file zip muncul dan terjadi *trigger alerts* sistem pada lingkungan agent sistem *scoring agent* merespon dengan melakukan scan pada file tersebut dan menghasilkan hasil seperti pada Gambar 4.3.21.

```
[!] Trigger [FIM] → dce7346008cc7d3088246fe8bb2924315673e66ee6f939941d4ce73c2de16b08.zip
    Hash : 6467fabb9c8c03f7895aaad2...
    Path : /home/agent/Downloads/dce7346008cc7d3088246fe8bb2924315673e66ee6f939941d4ce73c2de16b08.zip
DEBUG [dce7346008cc7d3088246fe8bb2924315673e66ee6f939941d4ce73c2de16b08.zip]: Sebelum analysis (Memulai CTI Request...)
DEBUG [dce7346008cc7d3088246fe8bb2924315673e66ee6f939941d4ce73c2de16b08.zip]: Sesudah analysis (CTI Request Selesai!)
{
  "timestamp": "2026-05-18T09:27:19.878734",
  "target": {
    "file_hash": "6467fabb9c8c03f7895aaad2c6bb48033d3dc6bb6a62113ea7b8a76b8bd39c48",
    "filename": "dce7346008cc7d3088246fe8bb2924315673e66ee6f939941d4ce73c2de16b08.zip",
    "path": "/home/agent/Downloads/dce7346008cc7d3088246fe8bb2924315673e66ee6f939941d4ce73c2de16b08.zip",
    "src_ip": "127.0.0.1",
    "dst_ip": "127.0.0.1",
    "agent_id": "003"
  },
  "scores": {
    "final_score": 0.0,
    "status": "NORMAL",
    "severity": "low"
  },
  "details": {
    "source": "fim",
    "vt_positives": 0,
    "vt_total": 0,
    "vt_ratio": "0/0",
    "vt_found": false,
    "vt_hash_norm": 0.0,
    "ctx_hash_norm": 0.0,
    "otx_severity": "none",
    "ctx_name": null,
    "hash_score": 0.0,
    "hash_status": "NORMAL",
    "hash_severity": "low"
  }
}
```

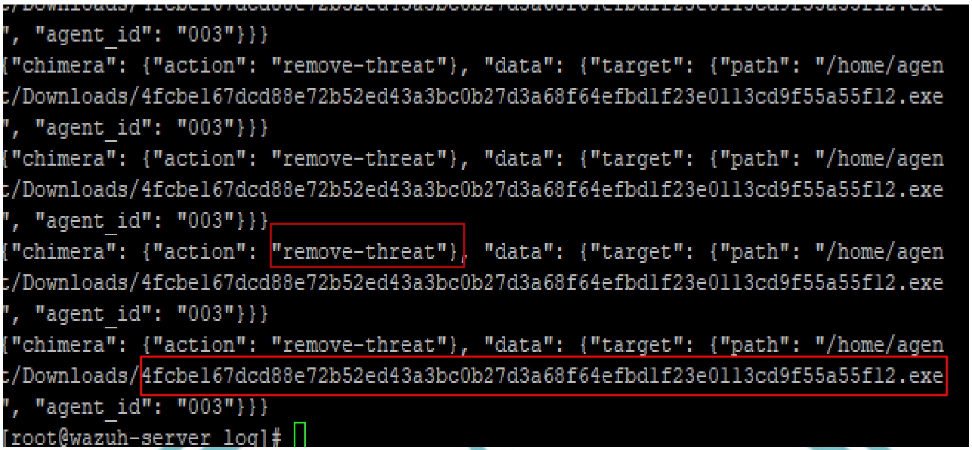
Gambar 4.25 Log Hasil Scan Kontainer Zip Dengan Status Normal

Gambar 4.25 merupakan log yang dihasilkan dari proses *scan* terhadap file zip dan ditemukan status NORMAL pada bagian *scores* sehingga membuktikan sistem dapat mengenali file yang dengan status normal (*normal*). Tahapan selanjutnya adalah sampel *malware* diekstraksi dari file zip dan menghasilkan log seperti pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Log hasil scan file malware

Gambar 4.26 merupakan log yang dihasilkan dari proses *scan* terhadap file malware dengan hash yang diekstraksi sama dengan yang ada pada *website.* Ditemukan status *MALICIOUS* pada bagian *scores* sehingga membuktikan sistem dapat mengenali file berbahaya dengan status *malicious*. Selanjutnya berikut adalah contoh dari log sistem yang mengkonfirmasi terjadinya penghapusan *file* pada ekosistem agen:



Gambar 4.27 Log Eksekusi Mitigasi Active Response pada Agen

Gambar 4.27 merupakan hasil tangkapan layar dari terminal sistem Wazuh yang berisi log penghapusan *file* pada agen. Setelah proses *scan* menghasilkan hasil yang *malicious,* log tersebut akan otomatis terbentuk dan disimpan pada lokasi /var/log/chimera_soar.json sebagai bukti penghapusan file pada sistem. Melalui log penghapusan file dengan hash,

4fcbe167dcd88e72b52ed43a3bc0b27d3a68f64efbd1f23e0113cd9f55a55f12 sebagai hash dari file pengujian. Hal ini menjadi bukti sistem dapat terhubung dengan log mitigasi SOAR yang berjalan pada Wazuh.

B. Pengujian *Balance Accuracy*

Metode perhitungan *balance accuracy* didasari oleh penentuan nilai *C* (*Cost Parameter)* atau *misclassification cost* yang merepresentasikan seberapa besar konsekuensi dari kesalahan klasifikasi pada kelas positif dibandingkan dengan kelas negatif.

Penentuan nilai C didasarkan pada beberapa kondisi, yaitu bahwa nilai C berada pada rentang 0 hingga 1 atau secara matematis dituliskan $C \in [0,1]$. Nilai ini berfungsi sebagai parameter yang mengatur keseim
bangan antara kemampuan sistem dalam mendeteksi malware dan kemampuannya dalam menghindari *false positive*.

Setelah memahami kondisi nilai C pada penelitian ini ditetapkan tiga skenario pengujian yang terdapat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Skenario Pengujian Balance Accuracy

Nilai C	Skenario	Justifikasi
0,5	Bobot simetris, kedua kelas diperlakukan setara	*false positive* dan *false negative* dianggap sama berbahaya
0,8	Prioritas mendeteksi *malware,* kelas *malicious* lebih diutamakan	Ancaman yang tidak terdeteksi (false negative) memiliki dampak lebih besar
0,2	Prioritas menghindari *false positive*, kelas normal lebih diutamakan	penghapusan *file* aman secara otomatis (active response) berisiko mengganggu operasional

Berdasarkan tabel 4.8, diketahui karakteristik pengujian dimana semakin tinggi nilai C menunjukan semakin besar prioritas sistem pada pendeteksian *malware* sehingga risiko lolosnya *malware* saat proses pemeriksaan dapat diminimalkan. Sebaliknya, semakin rendah nilai C menunjukan semakin besar prioritas sistem pada pengurangan *false positive*, sehingga risiko *file* normal yang keliru ditetapkan sebagai *malicious* dan terhapus dapat ditekan.

C. Pengujian Waktu Pemrosesan Alert

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan oleh sistem pengambilan keputusan berbasis multi-source CTI dalam melakukan proses validasi indikator ancaman. Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah dengan melakukan validasi secara manual dan validasi otomatis melalui sistem usulan. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk mengetahui nilai rata-rata dari waktu yang dibutuhkan dalam melakukan validasi sebuah *alert*.

Skenario pengujian manual melibatkan SOC analis dengan melakukan pengecekan indikator ancaman secara terpisah melalui platform CTI, yaitu VirusTotal, CTX.io, OTX dan abuse IPDB. Validasi setiap indikator dilakukan bergantian dengan mencakup seluruh proses mulai dari proses membuka setiap webstie dari platform CTI, input, menganalisis hasil CTI,

mengambil keputusan dan melakukan tindakan pada *alert*. Pendekatan ini merepresentasikan kondisi operasional SOC pada organisasi.

Sedangkan pada metode otomatis, proses validasi dilakukan menggunakan sistem pengambilan keputusan berbasis Multi CTI yang terintegrasi secara langsung dengan SIEM Wazuh. Sistem akan secara otomatis mengirimkan *request* pada seluruh platform CTI secara bersamaan berdasarkan mekanisme pembobotan yang telah dikonfigurasi. Sehingga waktu validasi mencakup durasi eksekusi sistem hingga output keputusan diperoleh.

4.4.3 Analisis Data

Pengujian pertama terkait Percobaan dilakukan menggunakan 188 sample malware dan 240 file normal. Berikut adalah beberapa malware yang tercatat melalui log pengujian sistem.

Tabel 4.9 Tabel hasil log sistem

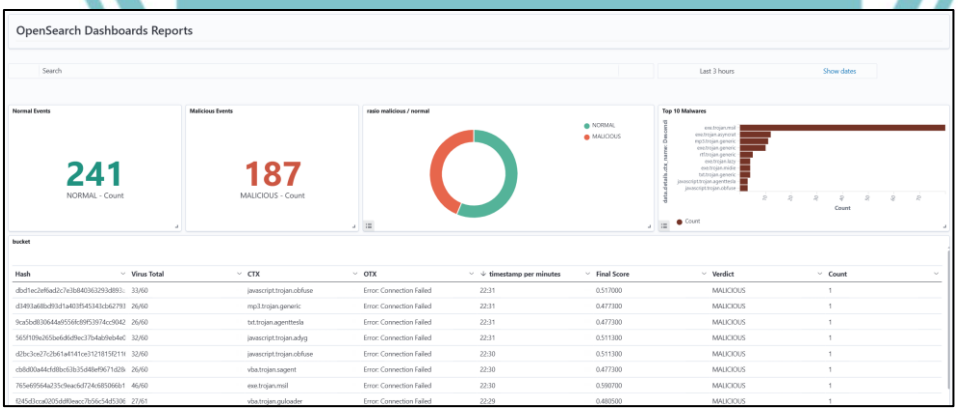
No	SHA 256	Rasio VT	Status CTX	Jenis Malware	Final Score	Verdict	Sesuai / Tidak
1	7fb6a216b21615eeb881bd16cbcb26155a590a40e7972d91bff2e21c013b1bc2	25/61	Malicious	exe.trojan.msil	0.4693	Malicious	Sesuai
2	e94865b2b225c8fe7e51c224d486c50711441647cf2266a7a698c1e56576036f	21/59	Malicious	mp3.trojan.generic	0.3559	Malicious	Sesuai
3	52db82045a84885d6baf046b451a1c8473e3eb0e4b3e2bda84e2c2af2ac27645	18/50	Malicious	vba.trojan.generic	0.4524	Malicious	Sesuai
4	9c389274c8da0d54f31747bf5af1988bb790dead674c9	31/54	Malicious	xls.exploit-kit.cve170199	0.5252	Malicious	Sesuai

No	SHA 256	Rasio VT	Status CTX	Jenis Malware	Final Score	Verdict	Sesuai / Tidak
	fa1b6fb2fdfb38aee30						
5	65ffd2b2dcc4c1908ca6640f59526dde3048255c255ed37829e52af110540111	60/71	Malicious	exe.worm.msil	0.8451	Malicious	Sesuai
6	8d330aabb2f7c7ca00d5ace55110f7d4f977f2bae53f5605f2bf4230b19eb494	56/68	Malicious	exe.backdoor.msil	0.8235	Malicious	Sesuai
7	a9814c12c8f86a7b13e2d8889f6d0b082bca0cb6574704501470775ae27e1f26	38/52	Malicious	exe.trojan.asyncrat	0.5785	Malicious	Sesuai
8	65b912304a9ea084a79024eb215644b0b3b068da5bc475e681e0f09ba66e6f65	21/49	Malicious	exe.trojan.generic	0.4757	Malicious	Sesuai
9	7448c841d7b0a02301d8aacbc4651e8492133b5d6077d9b9f9323337b29ba7b3	34/62	Malicious	powershell.trojan.generic	0.5165	Malicious	Sesuai
10	0001b8219a77f8e206efe2b71ecf3892aed755c26fb2dc5e4b7b42a226b72eaa	31/71	Malicious	dll.trojan.filisto	0.4785	Malicious	Sesuai
11	DFAA49666296C40D32451D6111B8D45B1DC86BA348B9A	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai

No	SHA 256	Rasio VT	Status CTX	Jenis Malware	Final Score	Verdict	Sesuai / Tidak
	2707021F27CD536CA6D						
12	6C01FA5464304847B63A23265A5A08995BE03B1A16934B40F21EC0D12B6620B5	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai
13	08DD72F58B5036D8208584FC9E56730522630B59DC659BC8753516734B727045	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai
14	E8074D87832DDEC3652DB02C5FF9F43F7E8FE4D9468D41F1ED310BC007477E5C	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai
15	273564C5C99BD95CE4DE54703E2B9A5B99FDF92063876E7C7D3C8C6A883A2CC1	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai
16	2B23FD2D745D25AC78A4B5DCD56585589B2741BD6BFF15920B4CA0CF105B496A	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai
17	4BA58E39A93D14A267A08797684003ABD06AC27D1B6695610EF9E3	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai

No	SHA 256	Rasio VT	Status CTX	Jenis Malware	Final Score	Verdict	Sesuai / Tidak
	F1C22BE75C						
18	C75336BB76D7AE4A35ED40F5C3035051A276AFDBA357A2AC596FAD254CB0C652	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai
19	462B88BAB8C8033ABB71C6C1793F16EA894A82DAAD355E6C1D084A6FFB0F3487	0	Normal	-	0	Normal	Sesuai
20	B72DD22DBABE04DCFEAF2B709631F4F5F21D65682CB335D7EF7947297E305D0A	9/62	Normal	-	0.072	Normal	Sesuai

Tabel 4.9 menunjukkan beberapa jenis *malware* yang berhasil dideteksi selama masa pengujian melalui log *scan*. Data didapatkan melalui log sistem saat melakukan pendeteksian. Sistem berhasil mengenali malware dengan jenis *trojan*, *exploit-kit*, *worm*, dan *backdoor* dengan final score yang berada diatas *treshhold*.



Gambar 4.28 Tampilan *Dashboard* Wazuh Setelah Pengujian

Gambar 4.28 menunjukkan tampilan *dashboard* Wazuh setelah dilakukan pengujian, dari 240 sampel pengujian data normal didapati 3 data *malicious* yaitu dengan hash:

1. A57E928F7BEDD13A872D2EDBF402D72701CBC33E39CB50284FEC305E33AC6A27
2. 20CD870DD02FD2F060969776983C3C103A3A09B3243A1D0CCE5BCC42A92DA65B
3. 98EEEA7BF9EB401AC70E1812BE320D393E9953005353BB060E2299B898527289

Ketiga file ini dinyatakan *malicious* karena memiliki nilai CTX yang Malicious ditambah oleh deteksi *antivirus engine* pada Virus Total.

Dalam implementasinya sistem tidak keliru dalam menilai bahwa ketiga file ini merupakan sebuah file berbahaya namun setelah dilakukan validasi silang oleh tim SOC diketahui bahwa ketiga file ini normal karena CTX tidak tepat dalam mengklasifikasikannya dengan tag *heuristik* umum seperti zip.trojan.generic dan javascript.virus.urbansniffer. Dikarenakan bobot CTX yang tinggi dibantu dengan bobot Virus total yang mendeteksi satu sampai 9 mesin menyatakan positif mengakibatkan nilai yang dihasilkan melampaui *threshold* yang sudah ditentukan. Sedangkan kedua data dengan status FN adalah file dengan hash

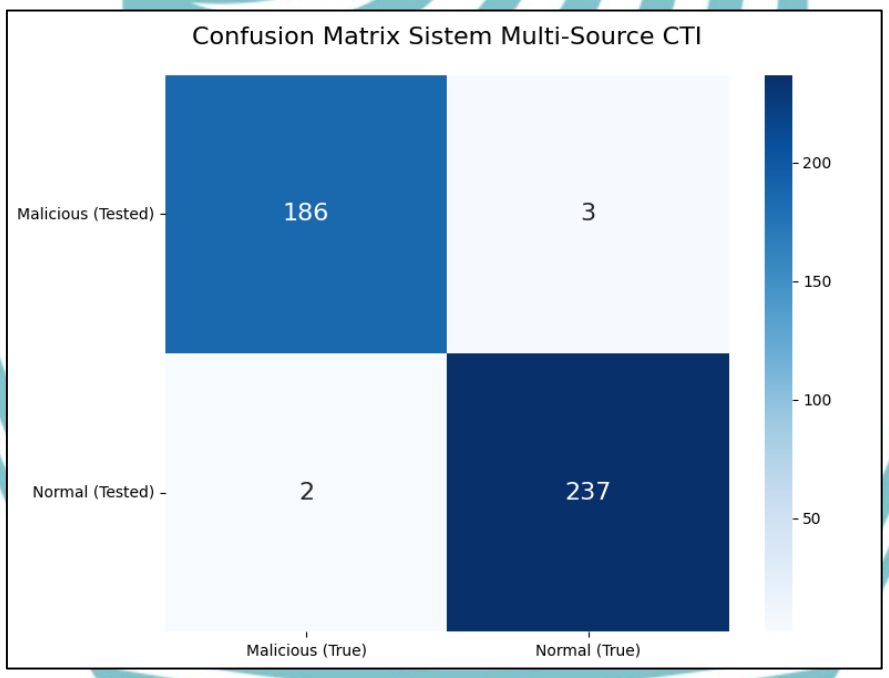
1. 61633f15878a2dbc10c09747e3712c5a10b4808830290e862058d2cdc8435137,
2. 536e1f8f46ee0f6cced9da56710b7f6996526da9d48e9cb63c0acb53dff14d5b

masing-masing file ini memiliki *reputation sc*ore pada Virustotal yaitu 5/58 dan 9/51 dan CTX bernilai NORMAL sehingga diklasifikasikan sebagai normal karena tidak mencapai *threshold* namun pada lingkup organisasi *file* ini dianggap berbahaya karena indikasi lain muncul pada *behavior* pada CTI lainnya diluar CTI pengujian.

Untuk memperoleh gambaran evaluasi yang komprehensif terhadap kinerja sistem, dilakukan perhitungan menggunakan metrik evaluasi. F1-Score beserta komponen Precision dan Recall sebagai metrik utama yang mengukur keseimbangan antara kemampuan deteksi ancaman dan penghindaran alarm palsu.

A. Uji Akurasi Deteksi Malware Sistem Usulan menggunakan F1-*Score*

Gambar 4.29 menunjukan confusion matrix hasil pengujian akhir sistem pengambilan keputusan berbasis Multi-Source CTI. Visualisasi ini dibuat menggunakan *library* matplotlib pada python untuk menggambarkan distribusi hasil klasifikasi sistem terhadap data pengujian. Semakin gelap warna pada sel menunjukan semakin banyak jumlah data yang masuk kedalam kategori tersebut.



Gambar 4.29 Confusion Matriks Hasil Pengujian Akhir

Setelah dilakukan analisis data terhadap hasil pengujian sistem multi-source CTI menggunakan 428 sampel yang terdiri dari 240 sampel normal dan 188 sampel *malware* yang tervalidasi. Hasil menunjukan bahwa dari 188 sampel *malware*, sistem berhasil mendeteksi 186 sampel secara benar dan 2 sampel salah. Sedangkan dari 240 sampel

file normal, sistem mengidentifikasi 237 sampel sebagai aman. Meskipun demikian terdapat 3 sampel *file* yang dikategorikan *malicious* dari data pengujian normal.

Hasil *confusion matrix* tersebut mengindikasikan bahwa mekanisme pengambilan keputusan berbasis Multi-Source CTI mampu membedakan indikator *malicious* dan normal. Selain itu, rendahnya nilai *false positive* menunjukkan bahwa penggunaan beberapa sumber CTI berhasil mengurangi risiko alarm palsu, sedangkan rendahnya *false negative* menunjukkan bahwa sebagian besar ancaman berhasil terdeteksi oleh sistem. Data confusion matrix pada Gambar 4.29 selanjutnya ditranslasikan ke dalam Tabel untuk dilakukan perhitungan metrik evaluasi seperti precision, recall, dan F1-score.

Tabel 4.10 Confusion Matrix dari Hasil Pengujian

Actual Class		**True Class**	
		Malicious	Normal
Tested Class	Malicious	TP = 186	FP = 3
	Normal	FN = 2	TN = 237

Melalui nilai pada Tabel 4.10 dilakukan perhitungan nilai metrik *precision*, *recall* dan F1-Score dari kinerja sistem usulan. Berikut merupakan perhitungan setiap metrik.

1. *Precision*

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Precision = \frac{186}{186 + 3} = \frac{186}{189}$$

$$Precision = 0{,}9841$$

2. *Recall*

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Recall = \frac{186}{186 + 2} = \frac{186}{188}$$

$$Recall = 0{,}9894$$

3. F1- Score

$$\text{F1-Score} = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$\text{F1-Score} = \frac{2 \times 0{,}9841 \times 0{,}9894}{0{,}9841 + 0{,}9894}$$

$$\text{F1-Score} = \frac{1.94733}{1.9735}$$

$$\text{F1-Score} = 0{,}9867$$

Hasil perhitungan metrik *precision, recall*, dan F1-*Score* disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perhitungan F1 Score

No.	Metrik	Nilai
1	*Precision*	0,9841
2	*Recall*	0,9894
3	F1-*Score*	0,9867

Pada Tabel 4.11 diketahui sistem usulan memiliki F1-*score* sebesar 0,9867 yang berarti sistem dapat menghasilkan keputusan benar sebanyak 98,67% dari seluruh data pengujian. Nilai *recall* sebesar 0,9894, sementara nilai *precision* sebesar 0,9841 menunjukan bahwa dari 100 kali *verdict malicious* yang diterbitkan, rata-rata 98 ancaman diantaranya adalah sebuah ancaman.

B. Analisis *Balance Accuracy*

Perhitungan *balance accuracy* didasari oleh nilai *confusion* matriks terhadap 428 sampel pengujian yang didapatkan melalui tahap uji akurasi deteksi *malware* sistem usulan menggunakan F1-*Score* , nilai dari masing-masing indikator yaitu, TP=186, FP=3, FN=2, TN=237, P=188, dan N=240.

Setelah mengetahui nilai setiap indikator maka perhitungan dilakukan terhadap tiga skenario yang telah ditentukan yaitu, nilai C=0.5, C=0.8, dan C=0.2, berikut adalah perhitungan setiap skenario tersebut :

1. C = 0.5 (Bobot simetris, kedua kelas diperlakukan setara)

   Balance accuracy = $C \times \frac{TP}{P} + (1 - C) \times \frac{TN}{N}$

   Balance accuracy = $0.5 \times \frac{186}{188} + (1 - 0.5) \times \frac{237}{240}$

   Balance accuracy = $0.5 \times 0.9894 + 0.5 \times 0.9875$

   Balance accuracy = $0.4947 + 0.4938$

   Balance accuracy = 0.9884

2. C = 0.8 (Prioritas mendeteksi *malware,* kelas *malicious* lebih diutamakan)

   Balance accuracy = $C \times \frac{TP}{P} + (1 - C) \times \frac{TN}{N}$

   Balance accuracy = $0.8 \times \frac{186}{188} + (1 - 0.8) \times \frac{237}{240}$

   Balance accuracy = $0.8 \times 0.9894 + 0.2 \times 0.9875$

   Balance accuracy = $0.7915 + 0.1975$

   Balance accuracy = 0.9890

3. C = 0.2 (Prioritas menghindari *false positive*, kelas normal lebih diutamakan)

   Balance accuracy = $C \times \frac{TP}{P} + (1 - C) \times \frac{TN}{N}$

   Balance accuracy = $0.2 \times \frac{186}{188} + (1 - 0.2) \times \frac{237}{240}$

   Balance accuracy = $0.2 \times 0.9894 + 0.8 \times 0.9875$

   Balance accuracy = $0.1979 + 0.79$

   Balance accuracy = 0.9879

Hasil dari tiga skenario pengujian menghasilkan nilai *balance accuracy* sebesar 0.9884, 0.9890, dan 0.9879. Melalui tiga skenario pengujian

yang dilakukan diketahui bahwa terdapat perbedaan antar nilai yang sangat kecil sebesar 0.0011, hal ini menunjukan sistem usulan tidak memiliki kecenderungan bias terhadap salah satu kelas, baik kelas *malicious* maupun normal.

Melalui pengujian F1-*score* yang didapatkan melalui pengujian akurasi deteksi *malware* sistem usulan adalah sebesar 0.9867 angka ini berada pada rentang yang sama dengan nilai hasil pengujian *balance accuracy*. Hal ini menunjukan F1-*score* yang digunakan merepresentasikan nilai yang valid terhadap kinerja sistem secara keseluruhan, dan tidak dipengaruhi oleh ketidakseimbangan jumlah sampel antara kelas *malicious* (188 sampel) dan kelas normal (240 sampel) yang digunakan dalam pengujian.

C. Analisis Pengujian Percepatan (*Speedup test*)

Setelah mengetahui nilai *balance accuracy* dari sistem, dilakukan pengujian terakhir yang merupakan pengujian kecepatan dari waktu sistem dalam melakukan validasi *alert* dan menghapus *file malware* disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 *Tabel Analisis Waktu Validasi Otomatis oleh Sistem*

No.	Iterasi	Metode Manual (detik)	Metode Otomatis (detik)
1.	Iterasi Ke-1	62	3
2.	Iterasi Ke-2	40	3
3.	Iterasi Ke-3	41	3
4.	Iterasi Ke-4	43	1
5.	Iterasi Ke-5	25	2
Rata – Rata		42.2	3

Berdasarkan tabel 4.12 waktu yang digunakan analis untuk melakukan validasi manual dengan membuka tab dari masing – masing platform CTI memakan waktu rata – rata selama 42.2 detik, sedangkan metode otomatis melalui sistem usulan memakan waktu selama 3 detik. Perbedaan waktu antara metode manual dan otomatis adalah 39.2 detik.

Setelah mengetahui rata – rata kecepatan dari kedua metode yang diuji, untuk menjelaskan perbedaan kecepatan antara penggunaan metode manual dan otomatis secara matematis digunakan rumus analisis *speedup test* sebagai rujukan. Berikut adalah perhitungan percepatan eksekusi sistem dalam menjalankan tugas valdasi ancaman pada sistem.

$$S(N) = \frac{T(1)}{T(N)} = \frac{T\ manual}{T\ otomatis}$$

Keterangan :

S = Nilai percepatan

T manual = Waktu Validasi menggunakan metode manual (detik)

T otomatis = Waktu Validasi menggunakan sistem usulan (detik)

Sehingga perhitungan menjadi:

$$S = \frac{42.2}{3} = 14.07$$

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai speedup adalah sebesar 14.07. Hasil pengujian menunjukan bahwa sistem usulan dapat melakukan proses validasi awal sekitar 14 kali lipat lebih cepat dibandingkan validasi manual dalam kondisi operasional normal.

D. Analisis Log Pengujian

Selain mengetahui tingkat akurasi melalui perhitungan F1-Score, analisis dari log pengujian juga menunjukan bagaimana sistem pengambilan keputuan menangani perbedaan data yang diberikan oleh beberapa CTI. Penerapan treshold sebesar 0.10 menghasilkan tiga skenario pendeteksian yang terjadi pada saat pengujian berlangsung. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut terkait skenario validasi.

1. Sistem pengambilan keputusan pada kasus deteksi skor rendah

   Skenario pertama yang terjadi adalah ketika sistem mendapati kondisi di mana VirusTotal mendeteksi *file* sebagai ancaman dengan rasio deteksi yang rendah (di bawah 20%), sementara platform

CTX.io memberikan keputusan *file* normal. Pendeteksian VirusTotal yang rendah ini sering kali diakibatkan oleh sejumlah kecil vendor antivirus pada platform yang melakukan kesalahan klasifikasi terhadap *file* yang sebenarnya aman.

Melalui perhitungan Multilevel *Decision Fusion file* dengan deteksi 9 dari 62 di virus total akan menghasilkan skor normalisasi sebesar 0.145. dan setelah dikalikan dengan bobot virustotal (0.50), skor akhir menjadi 0.0725. Karena nilai ini berada di bawah *treshold,* sistem memberikan keputusan akhir bahwa *file* termasuk dalam kategori normal. Data pengujian disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Tabel File Normal dengan Pendeteksian Rendah pada VirusTotal

No	SHA 256	Rasio VT	Skor VT	Status CTX	Verdict
1	B72DD22DBABE04DCFEAF2B709631F4F5F21D65682CB335D7EF7947297E305D0A	9/62	0.145	Normal	Normal
2	BB92DE2D91E9FA66821769CA01F019FE0B9EE4A77C8E2B839A1DE45E61ABB700	2/61	0.032	Normal	Normal
3	B35E5955EA3BFB85EC2C138DF797E8871310 9A1479807A87D8092FB3588778BD	10/61	0.163	Normal	Normal
4	FD263F854EF4F2B1F31E86561822CB67F50577CA08A297AB56A4F70541BE6817	1/62	0.016	Normal	Normal
5	ED8F382DE9C68245E5EFDE92D90D301646FF23E8DC8512C448CC348FA102D4C5	1/62	0.016	Normal	Normal
6	E34625E8FD2A8DFD5BA98E493961958C29867B2760C61A7B2677106B3BA42F35	1/62	0.016	Normal	Normal

No	SHA 256	Rasio VT	Skor VT	Status CTX	Verdict
7	C0B3B016C1C5950C6AF3E4CBC77BE69065AF5920407262F538B08753E01BA90B	1/62	0.016	Normal	Normal
8	7542A1BFDE04FB0174A77A5D846C1775D324450DE553CCA97C9E2F858E902A46	1/62	0.016	Normal	Normal
9	5FBC1666BCDC11A194DFF26513BEE84583166610B22DB3294C4D56B96F4DEDFD	1/57	0.017	Normal	Normal
10	67E3448AEB088592F759ADEE12D6451082DB269345980CC4DB6B74A77EE80452	1/47	0.021	Normal	Normal

Dengan menerapkan sistem pembobotan sistem berhasil menganulir alert dengan hash yang memiliki skor deteksi rendah, dan berakibat sistem lebih selektif dalam memberikan perintah pemblokiran.

2. Pendeteksian dengan Kompensasi Deteksi

   Skenario kedua terjadi ketika CTX.io tidak mendeteksi adanya ancaman (false negative), namun Virus total memberikan rasio pendeteksian yang lebih besar. Melalui *treshold* yang digunakan hanya diperlukan ~20% vendor aktif dari platform VirusTotal untuk dikategorikan sebagai *malicious.*

   Sebagai contoh, ketika VirusTotal mendeteksi 13 dari 60 *engine* sebagai *malicious* dan menghasilkan hasil normalisasi 0.216 dan membuat nilai skor akhir adalah 0.108. Nilai ini telah melampaui treshold awal (0.10) sehingga tetap akan mengaktifkan active response untuk pemblokiran oleh Wazuh. Hal ini membuat sistem lebih objektif dalam menilai *alert*.

3. Pendeteksian Malware oleh lebih dari Satu CTI

Skenario ketiga merepresentasikan kondisi di mana CTX.io memberikan label malicious (bernilai 1) yang diiringi dengan pendeteksian oleh VirusTotal. Berdasarkan pembobotan 0.50, deteksi tunggal dari CTX.io secara matematis memberikan nilai dasar 0.50, yang secara otomatis melampaui ambang batas eksekusi.

Melalui pengujian yang telah dilakukan, sistem pengambilan keputusan berbasis multi-CTI menunjukan kemampuannya dalam mendeteksi ancaman, validasi keputusan, serta melakukan respon otomatis terhadap indikator ancaman yang terdeteksi. Untuk memberikan gambaran menyeluruh terkait kemampuan sistem, ringkasan fitur dan hasil pengujian sistem disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Tabel Capaian Sistem Pengambilan Keputusan

No.	Parameter	Hasil
1	Jenis Indikator	SHA 256 Hash, IPv4
2	Platform CTI yang terintegrasi pada sistem	VirusTotal, CTX.io, OTX, AbuseIPDB
3	Hasil Keputusan	Normal, Malicious
4	Mekanisme cache	SQLite Cache
5	Otomatisasi respons	Delete File
6	Integrasi SIEM	Wazuh
7	Visualisasi Monitoring	Dashboard Wazuh Opensearch
8	Kemampuan enrichment	Reputasi, Severity, Pulse, Abuse Score
9	Waktu validasi sistem usulan	3 s
10	Nilai Speedup	14,07 ×
11	F1-Score Sistem	0,9867
12	Status Integrasi Wazuh	Berhasil
13	Status Active Response	Berhasil
14	Status Cache	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.14, seluruh pengujian dan indikator telah sesuai dengan tahap perancangan sistem dan menandakan keberhasilzan sistem dalam otomatisasi proses validasi mengikuti alur kerja analis SOC yang sudah berjalan.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancang bangun sistem pengambilan keputusan berbasis Multi-Source *cyber threat intelligence* pada wazuh SIEM berhasil dirancang dan diimplementasikan sebagai *middleware* berbasis Python yang mengintegrasikan empat platform CTI yaitu VirusTotal, CTX.io, OTX alienvault, dan Abuse IPDB kedalam Wazuh SIEM. dan hasil keputusan telah terintegrasi dengan (SOAR) active respon.
2. Pengujian sistem terhadap 428 sampel yang terdiri dari 188 sampel *malicious* dan 240 sampel normal menghasilkan nilai *precision* sebesar 0,984, *recall* sebesar 0,9894, dan F1-Score sebesar 0,9867. Pengujian ini menunjukan sistem dapat mengenali 98% malware dari data sampel yang diuji selain itu, hasil dari tiga skenario pengujian *Balance ccuracy* menghasilkan nilai *balance accuracy* sebesar 0.9884, 0.9890, dan 0.9879 menunjukan F1-*score* yang digunakan merepresentasikan nilai yang valid terhadap kinerja sistem secara keseluruhan.
3. Otomatisasi proses validasi CTI berhasil dilakukan dan terbukti meningkatkan kecepatan pemrosesan validasi ancaman. Metode otomatis menggunakan sistem usulan memiliki nilai speedup yang diperoleh 14.07 ini berarti proses validasi dapat berjalan 14 kali lebih cepat dalam kondisi normal. selain itu, sistem berhasil menerapan mekanisme rate limiting, rotasi API key, caching melalui SQL lite,dan visualisasi log melalui dashboard *OpenSearch* pada Wazuh *Dashboard* untuk mendukung aktivitas operasional harian tim analis SOC.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan yang terjadi pada saat dilakukannya penelitian, berikut saran yang dapat diimplementasikan pada penelitian lebih lanjut :

1. Pada penelitian ini terdapat keterbatasan pada penggunaan CTI yang digunakan dikarenakan dua jenis CTI yang digunakan (OTX alienvault dan abuse IPDB) memilki keterbatasan pemrosesan request hash pada tier API gratis dan ketidak cocokan pada jenis request. Sangat disarankan untuk menambahkan platform CTI dari sumber lain pada penelitian selanjutnya. Penulis mereomendasikan beberapa opsi untuk menggantikan fungsi OTX seperti malware bazar API dan Wazuh CTI API
2. Melakukan pengujian dengan volume alert yang lebih tinggi untuk memvalidasi skalabilitas dan keandalan sistem secara lebih baik. Serta dilakukan perhitungan F-1 score ulang dengan dataset untuk menentukan bobot awal dalam skala produksi yang lebih besar.
3. Mengotomatisasi perhitungan bobot awal secara dinamis. Karena nilai awal saat ini ditetapkan secara statis pada 0,10. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi mekanisme penyesuaian threshold secara adaptif sesuai kebijakan operasional yang berjalan terkait IOC.
4. Melakukan pengujian lebih lanjut terkait jumlah CTI optimal serta pengujian dengan API tier Premium (berbayar) sehingga diketahui *cost per incident* yang dibutuhkan untuk melakukan validasi secara otomatis.
5. Mengaplikasikan *whitelist* pada sistem pengambilan keputusan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah R.A , 2025. Analisis Kinerja SIEM Wazuh Dengan Fim, Yara, Dan Virustotal Dalam Mendeteksi Malware Pada Ubuntu Server.

About-AbuseIPDB.(2026).Abuseipdb.Com. https://www.abuseipdb.com/about

Ainslie, S., Thompson, D., Maynard, S., & Ahmad, A. (2023). Cyber-threat intelligence for security decision-making: A review and research agenda for practice. Computers and Security, 132. https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103352

Aktar, M. N., Sakib, M. N., Hossain, A., Ullah, A., Robin, K. H., Rahman, K. M., Reza, M. T., Ameen, A., Hossain, M. R., & Kundu, D. (2024). Enhancing False positive Alert Detection in Security Information and Event Management System Using Recurrent Neural Network. 2024 27th International Conference on Computer and Information Technology, ICCIT 2024 - Proceedings, 2794–2799. https://doi.org/10.1109/ICCIT64611.2024.11022066

Cohen, D., Te'eni, D., Yahav, I., Zagalsky, A., Schwartz, D., Silverman, G., Mann, Y., Elalouf, A., & Makowski, J. (2025). Human–AI Enhancement of Cyber Threat Intelligence. International Journal of Information Security, 24(2). https://doi.org/10.1007/s10207-025-01004-4

Dong, J., Hao, M., Ding, F., Chen, S., Wu, J., Zhuo, J., & Jiang, D. (2025). A Novel Multimodal Data Fusion Framework: Enhancing Prediction and Understanding of Inter-State Cyberattacks. Big Data and Cognitive Computing, 9(3). https://doi.org/10.3390/bdcc9030063

Ferdous, J., Islam, R., Mahboubi, A., & Islam, M. Z. (2023). A Review of State-of-the-Art Malware Attack Trends and Defense Mechanisms. IEEE Access, 11, 121118–121141. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.332835

Hidayat, M. R. T., Widiyasono, N., & Gunawan, R. (2025). OPTIMASI DETEKSI MALWARE PADA SIEM WAZUH MELALUI INTEGRASI CYBER THREAT INTELLIGENCE DENGAN MISP DAN DFIR-IRIS. Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan, 13(1). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5686

Hiruta, S., Umemura, Y., Kubo, M., Kanaya, N., & Kasama, T. (2025). Post-Exploitation Unveiled: Analyzing RAT Behaviors in a Realistically Simulated Enterprise Network. 1–8. https://doi.org/10.1109/dsc65356.2025.11260867

Hong Jun Choi, H. L. J.-Y. C. 2021. 2021 23rd International Conference on Advanced Communication Technology Is a False positive really False positive? IEEE.

How it works. (2025). VirusTotal. https://docs.virustotal.com/docs/how-it-works

Jang, H. S., Alawami, M. A., & Park, K. W. (2025). AV-Teller: Browser Fingerprinting for Client-Side Security Software Identification. Applied Sciences (Switzerland), 15(9). https://doi.org/10.3390/app15095059

Khayat, M., Barka, E., Adel Serhani, M., Sallabi, F., Shuaib, K., & Khater, H. M. (2025). Empowering Security Operation Center with Artificial Intelligence and Machine Learning - A Systematic Literature Review. IEEE Access, 13, 19162–19197. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3532951

Lab, S. (2026). CTX | Cyber Threat Intelligence Platform. CTX | Cyber Threat Intelligence Platform. https://www.ctx.io/about/ctx

Manzoor, J., Waleed, A., Jamali, A. F., & Masood, A. (2024). Cybersecurity on a budget: Evaluating security and performance of open-source SIEM solutions for SMEs. PLOS ONE, 19(3), e0301183. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301183

Olabanji, S. O. (2023). Advancing Cloud Technology Security: Leveraging High-Level Coding Languages like Python and SQL for Strengthening Security Systems and Automating Top Control Processes. Journal of Scientific Research and Reports, 29(9), 42–54. https://doi.org/10.9734/jsrr/2023/v29i91783

Pekar, A., & Jozsa, R. (2024). Evaluating ML-based anomaly detection across datasets of varied integrity: A case study. Computer Networks, 251. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110617

Rafsanjani, A. S., Kamaruddin, N. B., Behjati, M., Aslam, S., Sarfaraz, A., & Amphawan, A. (2024). Enhancing Malicious URL Detection: A Novel Framework Leveraging Priority Coefficient and Feature Evaluation. IEEE Access, 12, 85001–85026. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3412331

Santos, P., Abreu, R., Reis, M. J. C. S., Serôdio, C., & Branco, F. (2025). A Systematic Review of Cyber Threat Intelligence: The Effectiveness of Technologies, Strategies, and Collaborations in Combating Modern Threats. In Sensors (Vol. 25, Number 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/s25144272

Schryen, G. (2024). Speedup and efficiency of computational parallelization: A unifying approach and asymptotic analysis. Journal of Parallel and Distributed Computing, 187. https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2023.104835

Silva, P., Baye, G., Broggi, A., Bastian, N. D., Kul, G., & Fiondella, L. (2024). Predicting F1-Scores of Classifiers in Network Intrusion Detection Systems. Proceedings - International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN. https://doi.org/10.1109/ICCCN61486.2024.10637544

Soumik, S., Kh Said Al Mamun, Omim, S., Khan, H. A., & Sarkar, M. (2024). Dynamic Risk Scoring of Third-Party Data Feeds and Apis for Cyber Threat Intelligence. https://doi.org/10.32996/jcsts

Threat, O. (2026). LevelBlue - Open Threat Exchange. LevelBlue Open Threat Exchange. https://otx.alienvault.com/api

Zhao, Y. 2022. Information Fusion Method for Building Grassroots Teaching Organization Based on Intelligent Optimization. Wireless Communications and Mobile Computing, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/8902762

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Muhammad Ilham Sutama

Lahir di salah satu kota di Jawa Barat pada tahun 2004 dari pasangan bapak Hendra Sutama S.Pd dan ibu Ratna Sari Dewi S.Pd. Saat ini penulis berdomisili di daerah Depok. Penulis menuntaskan jenjang sekolah dasar di Madrasah Ibtidaiyah (MI) Alhidayah Arco pada tahun 2016, lalu melanjutkan Pendidikan pada jenjang sekolah menengah pertama di Madrasah Tsanawiyah (MTs) Negeri 1 Bogor pada tahun 2019, selanjutnya penulis melanjutkan sekolah pada jenjang sekolah menengah atas di SMA Negeri 5 Depok dengan jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan lulus pada tahun 2022. Penulis menyelesaikan Pendidikan Diploma Empat (D4) di Politeknik Negeri Jakarta dengan Program Studi Teknik Multi Media dan Jaringan pada tahun 2026.

Penulis memiliki dedikasi yang kuat pada riset akademis dan cybersecurity engineering, didukung oleh pengalaman sebagai asisten dosen dan partisipasi aktif dalam pengabdian masyarakat di Sekolah Alam Indonesia. Perjalanan akademis penulis ditandai dengan publikasi paper ilmiah di IEEE dan berkesempatan mempresentasikan secara langsung pada konferensi IC2IE 2024, serta pengerjaan skripsi yang berfokus pada evaluasi akurasi sistem deteksi malware dengan menerapkan metodologi validitas statistik.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumen F4

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
Jl. Prof.DR.G.A. Siwabesy, Kampus UI, Depok 16425
Telp. (021) 91274097, Fax (021) 7863531
Laman : http://www.pnj.ac.id, e-mail:tik@pnj.ac.id

F4

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING MENGIKUTI SIDANG SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah Pembimbing skripsi :

Nama Mahasiswa	: Muhammad Ilham Sutama
NIM	: 2207421028
Program Studi	: TMJ
Judul Skripsi	: Rancang Bangun Sistem Pengambilan Keputusan Berbasis Multi Source Cyber Threat Intelligence Pada Wazuh SIEM

Sesuai dengan persyaratan yang diatur dalam Pedoman Skripsi Jurusan Teknik informatika dan Komputer, maka dengan ini menyetujui mahasiswa tersebut di atas untuk mengikuti sidang skripsi Tahun Akademik 2025 / 2026

Depok, 07 Juni 2026
Pembimbing,

(Asep Kurniawan, S.Pd., M.Kom.)
NIP.199109262019031012

Lampiran 2 Surat Izin Observasi

TIRTA NAWASENA TEKNOLOGI

SURAT PERSETUJUAN IZIN OBSERVASI

Nomor : 01/TNT/HR-B/VI/2026
Lampiran : -

Kepada Yth.
Ibu Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.
Ketua Jurusan
Politeknik Negeri Jakarta

Dengan hormat,

Sehubungan dengan surat permohonan izin observasi Nomor 793/DST/PL.312/B/KM.07.00/2026 yang kami terima pada tanggal 29 Juni 2026, perihal permohonan izin pelaksanaan kegiatan observasi bagi mahasiswa semester 8 (delapan) Jurusan Teknik Multimedia dan Jaringan dari Politeknik Negeri Jakarta.

Melalui surat ini, kami sampaikan bahwa pihak manajemen PT. Tirta Nawasena Teknologi **MENERIMA / MENYETUJUI** permohonan izin observasi tersebut untuk mahasiswa yang bersangkutan :

No.	Nama	NIM
1	Muhammad Ilham Sutama	2207421028
2	Bayu Dwi Setianto	2207421008

Kegiatan observasi dilaksanakan dengan ketentuan yang berjalan selama periode magang. Sejak dimulai hingga berakhirnya periode magang dan observasi ini, para mahasiswa yang bersangkutan telah mematuhi seluruh praturan, menjaga kerahasiaan data internal, serta mematuhi tata tertib yang berlaku di lingkungan PT. Tirta Nawasena Teknologi.

Demikian surat balasan ini kami sampaikan. Atas perhatian dan kerja samanya, kami ucapkan terima kasih.

Tangerang Selatan, 30 Juni 2026
PT. Tirta Nawasena Teknologi

Camelia fatimah
Human Resource & GA

Email. info@tirtanawasena.com
Ph. (+62) 888 1772 211

Vila Dago Tol Blok. C14 No. 1 RT. 009 RW. 019
Serua, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten

Lampiran 3 Dataset Pembobotan 200 IOC (100 Malicious dan 100 Normal)

No	SHA-256	Ground Truth	VirusTotal	Abusel PDB	CTX.io	OTX	Skor VT	Skor CTX	Final Score
1	1e621fd2a755f05c20670d2f4cb546baff6478d4979ff5f80e4d7e583e6bc401	MALICIOUS	26/71.	N/A%	Malicious	0	0,3662	1,0000	0,6861
2	c91183175ce77360006f964841eb4048cf37cb82103f2573e262927be4c7607f	MALICIOUS	37/61.	N/A%	Malicious	0	0,6066	1,0000	0,8052
3	8c1dc9732884c6078b23953b78314a8d0d8b8d9fe42e5f97a7cd09b8ace943a9	MALICIOUS	55/72.	N/A%	Malicious	0	0,7639	1,0000	0,8831
4	52b6fb40e7efb09c2bebe8550178e7e30009600bdedd1acae085d753761b7598	MALICIOUS	47/72.	N/A%	Malicious	0	0,6528	1,0000	0,8281
5	40c2e559992a7f595c593b419930a3f216516c3042ad86fb985348d53b6e01b9	MALICIOUS	46/72.	N/A%	Malicious	0	0,6389	1,0000	0,8212
6	9f4672c1374034ac4556264f0d4bf96ee242c0b5a9edaa4715b5e61fe8d55cc8	MALICIOUS	29/62.	N/A%	Malicious	0	0,4677	1,0000	0,7364
7	5a17cfaea0cc3a82242fdd11b53140c0b56256d769b07c33757d61e0a0a6ec02	MALICIOUS	36/61.	N/A%	Malicious	0	0,5902	1,0000	0,7970
8	b2ba51b4491da8604ff9410d6e004971e3cd9a321390d0258e294ac42010b546	MALICIOUS	38/61.	N/A%	Malicious	0	0,6230	1,0000	0,8133
9	fd3f13db41cd5b442fa26ba8bc0e9703ed243b3516374e3ef89be71cbf07436b	MALICIOUS	37/61.	N/A%	Malicious	0	0,6066	1,0000	0,8052
10	969d2776df0674a1cca0f74c2fccbc43802b4f2b62ecccecc26ed538e9565eae	MALICIOUS	38/61.	N/A%	Malicious	0	0,6230	1,0000	0,8133
11	425b2f283b71237276f84d941d9c2982c7f61a9aff12ece10e15065b73b7165e	MALICIOUS	54/71.	N/A%	Malicious	0	0,7606	1,0000	0,8814
12	b211537ea626fae4ad2ef5ee2652633dc68aaf20da6eb953a44f266c4106b367	MALICIOUS	54/70.	N/A%	Malicious	0	0,7714	1,0000	0,8868
13	324eabc27a25f524c94bb62573986b3335ab5181ddc6825d959d16aaaccdc7aa	MALICIOUS	49/67.	N/A%	Malicious	0	0,7313	1,0000	0,8670
14	618070d597dd73c43ba5d4bde2baa93a4f6038e3279de3bafe688caa5c409a58	MALICIOUS	55/68.	N/A%	Malicious	0	0,8088	1,0000	0,9053
15	fafb6c5e12dfeefaba5ac8982d5bb13dd206cfcd328b9d36aa87257f762ee24a	MALICIOUS	49/72.	N/A%	Malicious	0	0,6806	1,0000	0,8418
16	7a311b584497e8133cd85950fec6132904dd5b02388a9feed3f5e057fb891d09	MALICIOUS	52/70.	N/A%	Malicious	0	0,7429	1,0000	0,8727
17	4c82fbafef9bab484a2fbe23e4ec8aac06e8e296d6c9e496f4a589f97fd4ab71	MALICIOUS	32/72.	N/A%	Malicious	0	0,4444	1,0000	0,7249
18	3ab9575225e00a83a4ac2b534da5a710bdcf6eb72884944c437b5fbe5c5c9235	MALICIOUS	54/71.	N/A%	Malicious	0	0,7606	1,0000	0,8814
19	51b9f246d6da85631131fcd1fabf0a67937d4bdde33625a44f7ee6a3a7baebd2	MALICIOUS	52/72.	N/A%	Malicious	0	0,7222	1,0000	0,8624
20	788ba200f776a188c248d6c2029f00b5d34be45d4444f7cb89ffe838c39b8b19	MALICIOUS	22/64.	N/A%	Malicious	0	0,3438	1,0000	0,6750
21	79d64863f197cd5e962212b06610e33dc9f8b34205bc6c74b8e06b0ed8eae4bd	MALICIOUS	61/73.	N/A%	Malicious	0	0,8356	1,0000	0,9186
22	860a6177b055a2f5aa61470d17ec3c69da24f1cdf0a782237055cba431158923	MALICIOUS	51/71.	N/A%	Malicious	0	0,7183	1,0000	0,8605
23	efaf8e7422ffd09c7f03f1a5b4e5c2cc32b05334c18d1ccb9673667f8f43108f	MALICIOUS	51/71.	N/A%	Malicious	0	0,7183	1,0000	0,8605
24	66713bed042b05671e7979cd7533587eca35f10228a879a9bfa015c9c4b850b9	MALICIOUS	9/62.	N/A%	Malicious	0	0,1452	1,0000	0,5767
25	73b6b7b19f154d96dbf420044fe43b3cde406c404fab30e5388284e612d03be5	MALICIOUS	12/62.	N/A%	Malicious	0	0,1935	1,0000	0,6006
26	6496807d4f83d0996c5edb0299887ce4aee26ce4537012c70777ebad2a351af3	MALICIOUS	9/62.	N/A%	Malicious	0	0,1452	1,0000	0,5767
27	87be42b2e5ffb8d223ee20a9e17cd68f5807c287fd7092e4d2971bd34a63b195	MALICIOUS	14/62.	N/A%	Malicious	0	0,2258	1,0000	0,6166
28	12bba7161d07efcb1b14d30054901ac9ffe5202972437b0c47c88d71e45c7176	MALICIOUS	44/68.	N/A%	Malicious	0	0,6471	1,0000	0,8252
29	8aa0cb69ca2777001e0f4ba0eaab0841592710e4cc5ccd6b0b526d78bbd8bfba	MALICIOUS	45/70.	N/A%	Malicious	0	0,6429	1,0000	0,8231
30	67edc4c3610de89f55259ae86a9155fd59142bc1124f02df85dec98cf2398356	MALICIOUS	27/72.	N/A%	Malicious	0	0,3750	1,0000	0,6905
31	59485D11BE4B46CE30D1FDC6B86E92E3A8D201EAF0BD50C348D740BEFB35F9E6	MALICIOUS	20/61.	N/A%	Malicious	0	0,3279	1,0000	0,6672
32	8D0B8005E271C8CC578824A1E91EA76805A6564F00735787D0891333C213272A	MALICIOUS	22/62.	N/A%	Malicious	0	0,3548	1,0000	0,6805
33	0c129e661bb423f72d6795e6ee421bd2ba1078419aafb627cc591aa1e9064139	MALICIOUS	22/72.	N/A%	Malicious	0	0,3056	1,0000	0,6561
34	b89b5ac8b8cc6c40cc93b2886c61a4a9721123a16e454e235c7a89ca7466ed16	MALICIOUS	13/71.	N/A%	Malicious	0	0,1831	1,0000	0,5955
35	ec857a710d30baf5238dc74c125de34ea2a3e5c49de07a84050de1d96b58b9bd	MALICIOUS	56/70.	N/A%	Malicious	0	0,8000	1,0000	0,9010
36	64a5231340a2c543df22fa4516950bbc7f4926df6e5ff09ff177db6c062c778d	MALICIOUS	60/72.	N/A%	Malicious	0	0,8333	1,0000	0,9175
37	a750fe1eeb4364b3ef69d0939b5aa104c9ee8890d1468984f0c36ae540314225	MALICIOUS	22/46.	N/A%	Malicious	0	0,4783	1,0000	0,7416
38	994fb855cbea0533dda9630a32ccc11f0ab5163e603ead11110732bb19655ef7	MALICIOUS	63/72.	N/A%	Malicious	0	0,8750	1,0000	0,9381
39	e0f8ddf73297a093f986d6e3155d9e305332a37d9f8a383c40c51aa318c3190a	MALICIOUS	54/66.	N/A%	Malicious	0	0,8182	1,0000	0,9100
40	3225435b9328ef4159586fa4e01f6d4057d487fb15d731071941c7c473fe2463	MALICIOUS	60/71.	N/A%	Malicious	0	0,8451	1,0000	0,9233
41	0c1587d8ce9b7b1968994727c1cbc30aff2f9769b9511545f8e3db1535f77273	MALICIOUS	62/72.	N/A%	Malicious	0	0,8611	1,0000	0,9312
42	8e38dbbf489e49b833117da15856f300d364274a96ec4145a7959627486d3f83	MALICIOUS	56/71.	N/A%	Malicious	0	0,7887	1,0000	0,8954
43	6434e5f1bccabd00de72a127a6c0b08148c7111fa0f4d01351b4ce5d70e3c990	MALICIOUS	42/70.	N/A%	Malicious	0	0,6000	1,0000	0,8019
44	f15f8e4701e071aced59c00803f3ca5abf30dd63fad6095aa2fd4d1d2043c909	MALICIOUS	59/72.	N/A%	Malicious	0	0,8194	1,0000	0,9106
45	c1c8cb3fedb1a22f3ed98110aa9e38cdf23a7033f6b6274f1f45d9ac448d5da2	MALICIOUS	44/71.	N/A%	Malicious	0	0,6197	1,0000	0,8117
46	57997f11e51549af9e9f2e70d49774c760b94fcb2f6361213b3966f9cf1ee353	MALICIOUS	61/72.	N/A%	Malicious	0	0,8472	1,0000	0,9243
47	98c5843810 39f2c7272a778c447462749d9d4a75d64546f7a2d5c9e0fb64d025	MALICIOUS	59/72.	N/A%	Malicious	0	0,8194	1,0000	0,9106
48	46a52b7f02c48bbc21e1158648e5d2fb44d1f81b97663dab4b625a700cc6d4d4	MALICIOUS	45/72.	N/A%	Malicious	0	0,6250	1,0000	0,8143
49	330be10bb8e948b983659d21b5ba673dc617aa25dc5f787d1851537d875edff5	MALICIOUS	61/67.	N/A%	Malicious	0	0,9104	1,0000	0,9557
50	6ce0a7d11351b59962e8e6f5f5799fec5c7e6c241bc687a05de41f322a02f8e4	MALICIOUS	63/72.	N/A%	Malicious	0	0,8750	1,0000	0,9381

(Lanjutan)

51	e971feede5c8a07a739548ac7d93881a26e750f0624bf3b78914b9aadff9ff36	MALICIOUS	61/72.	N/A%	Malicious	0	0,8472	1,0000	0,9243
52	a6edec8bb8a1de71eff27deecd7aae78ef4514dc8e2ed3dd83aeaf25a7e4a188	MALICIOUS	50/68.	N/A%	Malicious	0	0,7353	1,0000	0,8689
53	767f3fcee9ffd46b2a4363cffd80174c07ae8d5797f5a8f7805304c04c8f8e9f	MALICIOUS	59/72.	N/A%	Malicious	0	0,8194	1,0000	0,9106
54	d483ab9264c56f627378abbe4b29b1efccda58d70eedef72bf4a1072db5d52e6	MALICIOUS	44/69.	N/A%	Malicious	0	0,6377	1,0000	0,8206
55	fb01be0e521af523d9d97f50deee0a937a61e8cc843ec0b882f5717313560f1c	MALICIOUS	58/71.	N/A%	Malicious	0	0,8169	1,0000	0,9093
56	4426658537673182de9abc33956b29eef3eb18e7f4d2881aab7f4e8837fc97d3	MALICIOUS	44/70.	N/A%	Malicious	0	0,6286	1,0000	0,8161
57	75cc5d86debdd4460f6c4bb8deb3744eaa9ef061a206c3f44e64b82cf719078a	MALICIOUS	64/72.	N/A%	Malicious	0	0,8889	1,0000	0,9450
58	fd3c637591dfa802171102214af18f8434172581de9543adc4e787f84238bb5c	MALICIOUS	61/72.	N/A%	Malicious	0	0,8472	1,0000	0,9243
59	ee60ff1e4073073b7c122c5709f1de810691087b1c0ca0bd128695197149370c	MALICIOUS	54/66.	N/A%	Malicious	0	0,8182	1,0000	0,9100
60	de87e4225ec484e8dceb3be6fe4172e827f8871e9001e4e8566daea1b7197421	MALICIOUS	64/72.	N/A%	Malicious	0	0,8889	1,0000	0,9450
61	aafbd0338ee20af57651a90baaf8504999c072323a9515471fa63c4825a47741	MALICIOUS	61/72.	N/A%	Malicious	0	0,8472	1,0000	0,9243
62	7bc04bac0ba2752d75414cd49cb7b577fb3bba10cf093c4fc0219fced0295686	MALICIOUS	61/72.	N/A%	Malicious	0	0,8472	1,0000	0,9243
63	3b71bbfe8f25fe8cfa088c49145045d0d0b6bad2389c762a2f23677afa2b4edd	MALICIOUS	57/72.	N/A%	Malicious	0	0,7917	1,0000	0,8968
64	ef32a486692c3741b508a13884cbec9f674f2ad0cce280ddfbb0e312e087d1c0	MALICIOUS	50/71.	N/A%	Malicious	0	0,7042	1,0000	0,8535
65	f1e7ad0e00c156b9f927171af0fa415f2d234b6af3b39cd16675d94f52d156a4	MALICIOUS	35/53.	N/A%	Malicious	0	0,6604	1,0000	0,8318
66	ebc90ddb17915f0227f2229feee430afd37fc81c61ae4d703a823b82cab6703c	MALICIOUS	61/72.	N/A%	Malicious	0	0,8472	1,0000	0,9243
67	1c3199a7e3bd6da6647a260d168700d456402a9d751bc26b5a8e1874a035298b	MALICIOUS	61/72.	N/A%	Malicious	0	0,8472	1,0000	0,9243
68	4edc7981542ff530aa6708a8df8f9123335d77d51d4ca3e2b7d0c7797b0926b1	MALICIOUS	61/71.	N/A%	Malicious	0	0,8592	1,0000	0,9303
69	4121140cb90d1022a3b42305b833e04a46e7ab28a0d9dadcc43e2c922c5bf1f0	MALICIOUS	57/68.	N/A%	Malicious	0	0,8382	1,0000	0,9199
70	66b0f28aeef52f270d4ba713a57ac124f9bf711ae291050ef14b1886bba9a1cc	MALICIOUS	64/72.	N/A%	Malicious	0	0,8889	1,0000	0,9450
71	edcff9d9838400262b01881a7100ec7d31369451166b73c2ad65c8481ccc89fa	MALICIOUS	59/71.	N/A%	Malicious	0	0,8310	1,0000	0,9163
72	c61c2244e0367e3b3fbe76b98f6a516a03ab904a1c5d7fcace285c51c4dff43b	MALICIOUS	60/70.	N/A%	Malicious	0	0,8571	1,0000	0,9293
73	ce0a06bd85212a6325cbb0c816ecbed75d173f005f9f9e622d22c4e9aff79dca	MALICIOUS	54/64.	N/A%	Malicious	0	0,8438	1,0000	0,9226
74	a716a94fc0cd31b5d368b65044dad9983c1904e7d51ec64ab30567af59f4e8ca	MALICIOUS	47/71.	N/A%	Malicious	0	0,6620	1,0000	0,8326
75	0d27ddfa897381bf31878ca0af868a83a2746cc8d428c0e11a5f0b2e2d28ec72	MALICIOUS	58/67.	N/A%	Malicious	0	0,8657	1,0000	0,9335
76	37962d265ce4c3d6b0e1a2479522dc2bfc835b23552cdb24c35747d0c22bdd13	MALICIOUS	52/65.	N/A%	Malicious	0	0,8000	1,0000	0,9010
77	c4a11391f44853cf8783e17c14eeb379299d9137e3facf7f32a8cf5aea3b9767	MALICIOUS	52/65.	N/A%	Malicious	0	0,8000	1,0000	0,9010
78	5d20df009a03db5de41320f16acf70fc43137ea774db84b2bd22885ce5a5ced3	MALICIOUS	53/68.	N/A%	Malicious	0	0,7794	1,0000	0,8908
79	8ad4ee4f8c4ec47148635ecd1f3f70506b96752ad0c018fa5bc36596d559ec81	MALICIOUS	49/64.	N/A%	Malicious	0	0,7656	1,0000	0,8839
80	8a87aae368cd9817f313ece0e4bb52568017c01e245b7883b03db4bb03d80a1a	MALICIOUS	60/71.	N/A%	Malicious	0	0,8451	1,0000	0,9233
81	8d330aabb2f7c7ca00d5ace55110f7d4f977f2bae53f5605f2bf4230b19eb494	MALICIOUS	55/69.	N/A%	Malicious	0	0,7971	1,0000	0,8995
82	78c25d10e088fabffa93f29515f370e0c363199e3747b934986569fc7c9f3adb	MALICIOUS	20/65.	N/A%	Normal	0	0,3077	0,0000	0,1524
83	5fd0e67e8a755007259a760ac326b087a716191e42f13870642911cce39c228b	MALICIOUS	52/69.	N/A%	Malicious	0	0,7536	1,0000	0,8780
84	b056e1dfb6566ef0b2e10023d25b5bac3666a93b9f7a699afdff76c33b31793a	MALICIOUS	22/62.	N/A%	Malicious	0	0,3548	1,0000	0,6805
85	e2c0b2a29fb336e68031e00817a7d0808cc21d440bba3cb5b4b0bd835cda31a3	MALICIOUS	22/60.	N/A%	Malicious	0	0,3667	1,0000	0,6864
86	edf67f3e68edcb4e87852cdc10cdeb650a6bf4ab803b7e1fcb9b7f4bfee9fcab	MALICIOUS	21/60.	N/A%	Malicious	0	0,3500	1,0000	0,6781
87	6eb412e139987a8c83ffc920e10d8af81310de375ace0dfd3895f03514ce0a90	MALICIOUS	22/60.	N/A%	Malicious	0	0,3667	1,0000	0,6864
88	7448c841d7b0a02301d8aacbc4651e8492133b5d6077d9b9f9323337b29ba7b3	MALICIOUS	34/62.	N/A%	Malicious	0	0,5484	1,0000	0,7764
89	59e68875b733b15fa766af8d4f1d960b961e81a3b9cab37cf161c8ac9057ebd6	MALICIOUS	25/60.	N/A%	Malicious	0	0,4167	1,0000	0,7111
90	8d0ffcb69cefff7f66be5248e7714549bdaccab163842a86f8baebf7a341ea5d	MALICIOUS	15/50.	N/A%	Malicious	0	0,3000	1,0000	0,6534
91	536e1f8f46ee0f6cced9da56710b7f6996526da9d48e9cb63c0acb53dff14d5b	MALICIOUS	26/62.	N/A%	Malicious	0	0,4194	1,0000	0,7125
92	c03958f4bab9297fdaca6848c6b940002321fde305c3c3d61e0d1714fcdb1cd7	MALICIOUS	48/68.	N/A%	Malicious	0	0,7059	1,0000	0,8544
93	f16deb705d44a9b8bf1ac09128951b660d74bbce751c04293e5988f1bd1192be	MALICIOUS	55/71.	N/A%	Malicious	0	0,7746	1,0000	0,8884
94	32e6e9765b2e1e18699fdcc2817137b22f893457e2a10ae3f66081dd58f811ce	MALICIOUS	34/59.	N/A%	Malicious	0	0,5763	1,0000	0,7902
95	0729f408d5386d401f611358b5b7080afc070d352ad0fbbc45df1e901fb92a57	MALICIOUS	29/61.	N/A%	Malicious	0	0,4754	1,0000	0,7402
96	1966db90a2957b9015efaef6b635c0d96496e5e201b25f65b13f2e7aae7b57b1	MALICIOUS	28/54.	N/A%	Normal	0	0,5185	0,0000	0,2568
97	b0338437cfa0fede611a1f48bc7601482031ffcc4aad597e7aa6d3e44abdf2a0	MALICIOUS	43/60.	N/A%	Malicious	0	0,7167	1,0000	0,8597
98	a6eefc0acd6b5e512514a8933ec9f6059af268c364301e1fe8e11c3fb3888a5b	MALICIOUS	52/68.	N/A%	Malicious	0	0,7647	1,0000	0,8835
99	b7bfcc457284207f51138847c2036298f2e70d98d51bcc35e34a64cc5c591fe5	MALICIOUS	56/71.	N/A%	Malicious	0	0,7887	1,0000	0,8954
100	16007fd9454eecba4a5ae3e696e3a51ab8760323efa0eb57433ce2d5eeabc6ec	MALICIOUS	15/64.	N/A%	Malicious	0	0,2344	1,0000	0,6209

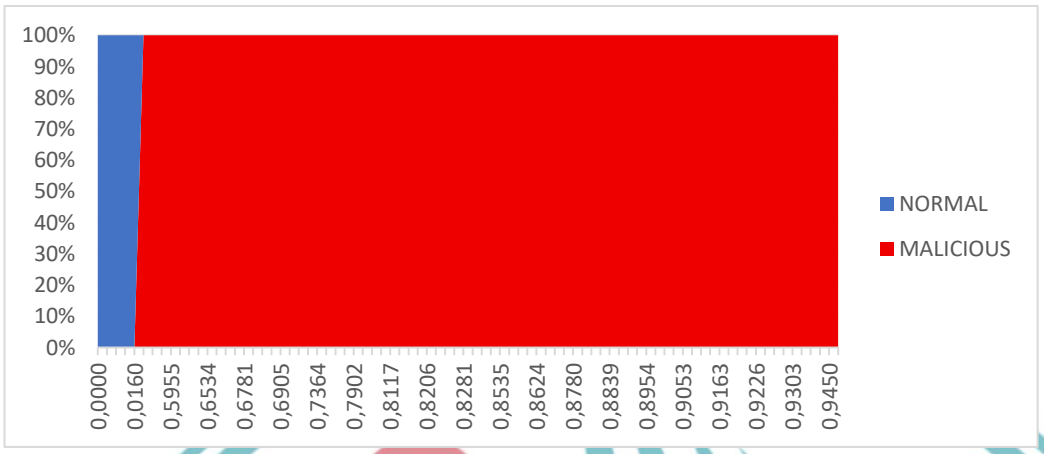
(Lanjutan)

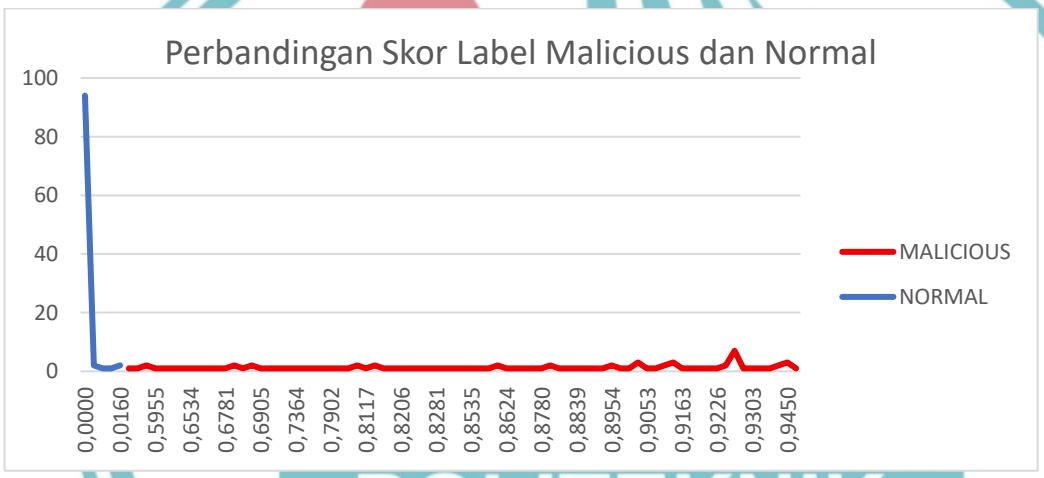
101	017995F270C646A7965FF205F3639B34D9E9F2FC99165C59B271BCA5AEFA80B6	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
102	0242A17D920C12146954B02BA575D9E4D9EEF32BDDD90BAFCF81C38903BE0900	NORMAL	2/62.	N/A%	Normal	0	0,0323	0,0000	0,0160
103	0270797E9DA9B10850424689870789798387B87C639FEB4B840FCBC12A6EB2A4	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
104	05133264950463C1EFD58E20699D540CA8CACCDD53CC1272ABE698773299B3B2	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
105	06E60A78C362502719AAB1D530A16B6EBBCD974C14D792B8C4238DD4D8B2555C	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
106	08DD72F58B5036D8208584FC9E56730522630B59DC659BC8753516734B727045	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
107	0930A8893D3BE7F983BE795889052ECCF28C63E01B909EA6D4A37A8797A6916A	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
108	0A2B20268C556D120CB5D757590BC6A7C35833FEF827D0C6B3335CE73CE70A84	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
109	0A4340E5511800FAD03E6239E1355CBB3B2D6E5062A73CC38418F972FA7A1113	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
110	0B1E352D9C579D0EADDD0F6D080971A16A474D923D9996118390F35C258BEC1D	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
111	0B402F661DE1AD3F51E7189943949D323F26ACA0C4140E58B8942EF02A424EF4	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
112	0FD02CEFC64BAF86B6E75F9027F989719FC58548E1892D3EA14FA2E5A1CDFAC9	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
113	1109EC66BA28F46B494364E26FC146A6207522BF888D028DE1C9E6F6ED9546EE	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
114	12CC9D391437EDEAFE5B3199E2D493C0B5CE79B12594CED53762FACDF2A69A6A	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
115	1351E3D4EDE0A1A83CE7A5CC2FBBA2FA5BA5FA5E318BE0BD1DE385160A110762	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
116	14C5E943D9EF2BC8228F14329AA398F3E879857D3AB2147DE68B7ADAA8E79392	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
117	170E318BC67FA83D89998CF88F32302F2E34A01C1647A9E8AB1D144ECB16C937	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
118	179222BFBB842B612652B04C39964B1F944B464DE16D5CE52D540D8A4BCCB820	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
119	17FBEE270AA0A1975419FD799443838C6AF9978A1489A4479909401DD38A3108	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
120	195FC20C6043E3F7C7FE4929BDC9F3B81CE1CD07FE213D505190653AC21BB46F	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
121	1ACA473DD48E537DD95D4343B2CC108353C0598435625FA74953B167CF2FF43C	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
122	1B096BC695A610576E0B0F34FD5126D2C02117F3BA26473D9151F3E5744A1C8A	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
123	1B8989D423D70F527B0A32BBA803276697D19BF46DDEE8CB5A4CC35719D01CD4	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
124	1E214AADD2D276E199A26A37EA4BD67B50C64D91635537A6BF940A309242D6E2	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
125	2206B0441DE805648B0E587C27C59401D65FFA0CE843058F950AE7B64ABAB44F	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
126	23AFE32CB254A166800C97FF53E48FC32CC2C738732C9A4F3525EA0DC7D34E2D	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
127	242452FEF30C454372237D86FE4BFAB3CDD2A553CBC5C7F9034BB2E526B6880F	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
128	242B92D4A3865D9C936912D742C7995431A1C34F211C2EDF7CCA49DFADE090F5	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
129	24CA1EB366CF0FCCA4B1CF3D2C7E784127530BE192537AECCDD6F840B99BF6BE	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
130	26FFC771E7C3B62A81C30A47DD8D82BB9D104C27F134B8FBA3F5ADE418297145	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
131	2A3385DB2807BB504B560790579255CF08BCC4C759D4BFA518A398B135B30ABB	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
132	2A60C6968118101F8478A04279A688FC03181B6E90C581C2536FE6B39488E87C	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
133	2AC904B8EDFA544867C8E0EF89FAC5696CD2D3206819154C53DC673CC1DDDD75	NORMAL	0/62.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
134	2B23FD2D745D25AC78A4B5DCD56585589B2741BD6BFF15920B4CA0CF105B496A	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
135	2B81BDB786CA5670C6B11C73C716F8C57EB8B6954A341FB90458C9817F71750E	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
136	2B8BE75AA4DFCCDC8B85C2402A3252BE5B304EFBB1B52CC8767FF41C72402E5B	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
137	2C482BEBC9F63CB91DEA44B92242CBC6C80D8A19630314BD712AA3B6B429B71F	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
138	2F7DE5C44671522400CE7E3D1274988763F9099AAFD99912B70BDBB8237403CA	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
139	3013A0E8FE37EF099BCF8C2C29905BE56F2BABE1400DEA771B1AB672EF057C5C	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
140	30BD05AD63455D066EFCCD89E2E3AB2CBF2BEFFEBBA3AAF80CDF92B37A7DB726	NORMAL	0/62.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
141	3280961AF5BA3B00E11CE9C892C4D2437D38CB4C0938EAB8B6AD683E759C6585	NORMAL	0/62.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
142	337532D2E2D3B8FD5EA545C79B10D835719A0B072D502F19414D734342F5DCB4	NORMAL	2/62.	N/A%	Normal	0	0,0323	0,0000	0,0160
143	342EAB3D1EF5186D5C570B6BEE15EE8A988B02D1C38723AEC35F501959953E3C	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
144	353924E7D11B5BCEB903D55018546ADB5DD8345487819AB90E315C04AF93210C	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
145	3641EE8B5867B396103335D53C99AC6C0BEBC7D4341D1831C95728D757548CCA	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
146	366ECF37702DC6588AA31F59C9883BCF730A8C8B7A429A67BC54BCD46FAB6741	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
147	36FD6FAAC5D220BDA87AEFF256B869D13C70A124EB2896D6F307245ED97BB61A	NORMAL	0/62.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
148	3968227D56EB9F2AD9BE295CDF80EFBEC2EA718F610A9BDAEDFC4521BEC62133	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
149	39758628FD9E06B3DB76E9942694460E84039681FC16857BBFCE058EBA8C416C	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
150	39CDBA0EC1F65D1F0F10B475E33FCA20D9F3B2A5E50F8C39F24A2C0F9A3BD69A	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000

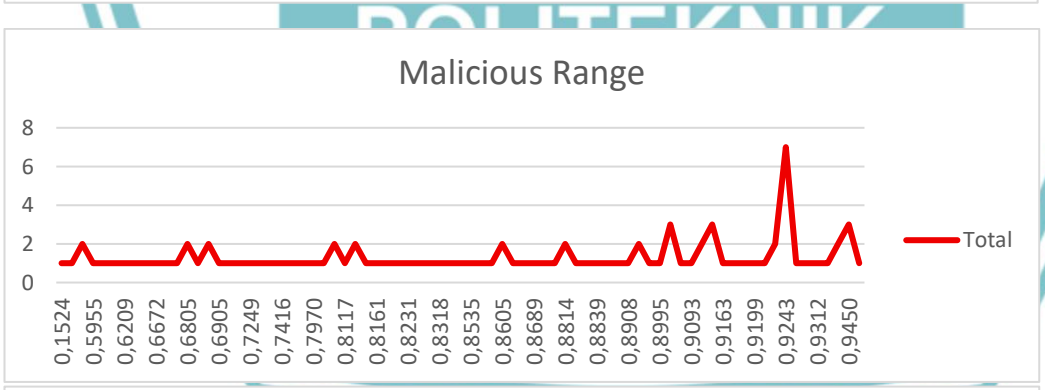
(Lanjutan)

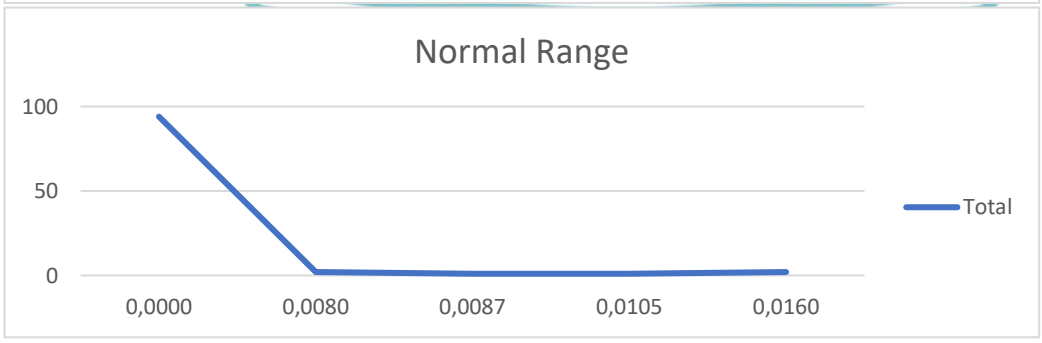
151	3A21D7872B04104E320518E8C692EB683D62BBD4072AF94B2AFDB40A9E417554	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
152	3CEF0A051F789AD29F8C08C2D53C6F495E3FD4490830713DA4F294DBAA6CB348	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
153	3E05357CF8D0A87C8D031C583A30A67FA5BB321F3AEFFA51E4C55E8FA0B05DF9	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
154	4049EBDFD88F088AE69284E38E13568FA10E0B6D15125F1C8A9C1CE6EF9635F2	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
155	40DCE2007A35CB4B5497F04E25669D92B88134902E24C8ABB3C8B910FE002124	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
156	442A87CF7EE48C38CFE7765587B12F125D5306A799EB2116F448999994D8C2C9	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
157	450D8F8E9D3C7F7E2A04137FB09BD790847B9B906BDB8026D14982454F53CE80	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
158	462B88BAB8C8033ABB71C6C1793F16EA894A82DAAD355E6C1D084A6FFB0F3487	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
159	46D9ED1078C5D942F9C3FFE8756747A60CA81FBAF6DD783BFD71A770A4BB8FC9	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
160	4771E2FB446F69B3C254AB159628DCB1A82CBE997091E54EF7A6941A29A41CBE	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
161	48718306BC3694D2DA705DA959DF814793C21F1ED9B4E82DE25383DD69086B42	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
162	489AFC87B0E842EC1FDDA396FF883EAC8B0DB4F85F3D99DC596E2499084A89B0	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
163	4AC0ABD71BA1FC953318587B17F877D5801E87F273CB60B5A70291CE0695EEAA	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
164	4B367FE51907F119823C360FE38F8809320EC48DCFD0EDADDA4D92EDFCD194AA	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
165	4CFFF1F8E0479F3106A1A926FBEFAF2E8018129D5574F8EEFC984C016095F0BA	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
166	4E32F33B2FA57F337F10CB56B4296E9DC4A6AAE35639B3698926AB0D259C8F0D	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
167	5006EECA919DF665052DA5BA4DDABED82B47BE334CC6EB867EB7F3BCF0A40E97	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
168	50701DC3F2CA802836247D254CF0257B75CBDA511BB51D8FE670C06B81EF7CF0	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
169	50C46D95A70CCED676F515600BAF4D2C5FDAB66E7EF67DB3BFBFD0C182ED6C7F	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
170	540DF47ADB43C36C32BE96C62C2F988B454B77A2FFE33575D6970308372D41FB	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
171	555BAA8A7C3016E301AAA3B05DEDCEBDA1B22E16BDC8BDC1523154E8C5AEA017	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
172	558DEDAC46678DE72496A68A5F31EEC002F82E920A5B96A357CEE5B31FCDC032	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
173	55FAED6E44EC4CD8663E2B1F4948986AC4CA40FFA0C72ECE1C4F31D565DB1DE2	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
174	57E6A28A68A32A984F9BE89E6370981E396E590F366715F3B6A03A5FB3740C14	NORMAL	1/62.	N/A%	Normal	0	0,0161	0,0000	0,0080
175	5825BD0858A6DA682FCF64597FCB5403DE3C39E8C4248CBEB69FA36B46DE12EC	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
176	585CF78C74A3A2997C5676AE8140207636E95897C27CB575FA1637CDF42F846A	NORMAL	0/62.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
177	59B7BBC9F33AD2FBB82E98E88712960E4DD09F1E1E09E5DA4230CB2518F1D337	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
178	59FB3F8E7E0CE08934FC5608A7C7262957E6D5B5536304F622CC9323B4BD73C6	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
179	5DFE821E38D4984FAC615ABD6FED5CB236196C364921FA0DDFE72FB10B77E66B	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
180	5FBC1666BCDC11A194DFF26513BEE84583166610B22DB3294C4D56B96F4DEDFD	NORMAL	1/57.	N/A%	Normal	0	0,0175	0,0000	0,0087
181	6347E3D613D80C83A63CA19F39083DEA94DDEEBAEFBBBE50DF8F1C3497767FBF	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
182	6519E6CA90B20B51D4CBEDA482A354E3FE76CF935ACD94A2EF6EB5B73A204525	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
183	6579FA98B3C1B179D34CE6752CBC792ABE75CD931D78DA682757298F26A975A1	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
184	657ABF716EAE316BD829E1C44F81BFF193A44C5710FCFD5447390EAA1FBE3447	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
185	65D6430E568985364B5C0C7B958D762D26EAE4AD76B20BEE5982300BF8F55AE9	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
186	6641B1D9CDF0969F0DB83D09F587570C540BA103CCB95EC8FD920E3726A9190F	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
187	6750CED46A4EF2D343D1B998EA641A823708E66ECA4A11136A22A46E68FAC3A9	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
188	67E3448AEB088592F759ADEE12D6451082DB269345980CC4DB6B74A77EE80452	NORMAL	1/47.	N/A%	Normal	0	0,0213	0,0000	0,0105
189	69F45B6279D411137B602D162B814A48B4E951074138C15C4DD47A3BB5484D6B	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
190	6A539A2D19B339A504E6AA81F23EF69BB62CB6798348CD85ABD5ADF6A96B6FE6	NORMAL	0/62.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
191	6ABDF0C5FDB2CE0290590FE35DC68E2BBFEC6EC379AABAEE32A272ECDFEB851B	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
192	6BC929264347D596DB6AEC4B592E318E102A62F8963AD1B7A8422B7B6A9657BB	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
193	6C01FA5464304847B63A23265A5A08995BE03B1A16934B40F21EC0D12B6620B5	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
194	6F6BAB2D8DF9EAE2D28AAF59DAD7F4845D2C47A62B54328972F5E76CE87E2DBA	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
195	700D68A4D38335783D65B3B23BD7B928E95202DCEE9023E1FCB4A160C5187853	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
196	7073B7817BC50F420260E7BD86A30452A96F4294DF04E7848E9E1FAEEE84B7D9	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
197	753A9D215BFED9A0D71B6722A99958381A116ADFD999979B1E81C50395A2DFA5	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
198	7542A1BFDE04FB0174A77A5D846C1775D324450DE553CCA97C9E2F858E902A46	NORMAL	1/62.	N/A%	Normal	0	0,0161	0,0000	0,0080
199	75C3006576A43EC93B4841565C5184BED1DC0FA2F9C15FC0076CAD9A136FAFAA	NORMAL	0/62.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000
200	7624C7938793B9B2B8606466FC8D624AE45361602B595DC3A186CFB3A782AE6B	NORMAL	0/0.	N/A%	Normal	0	0,0000	0,0000	0,0000

Lampiran 4 Sebaran data pada pengujian awal pembobotan

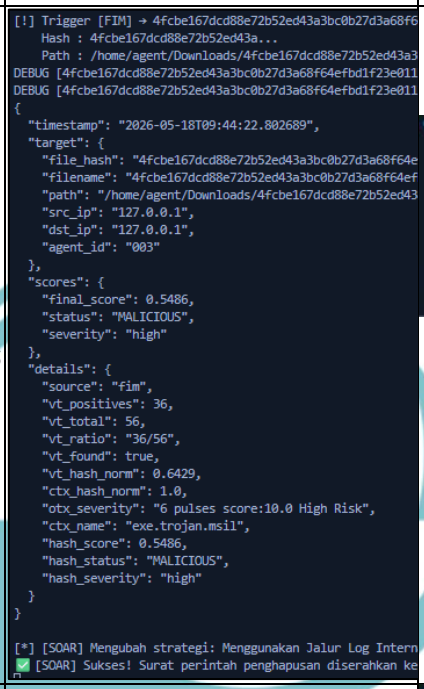
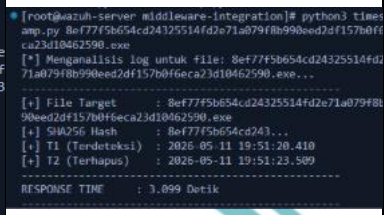
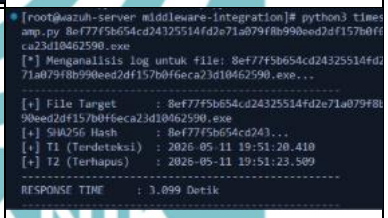


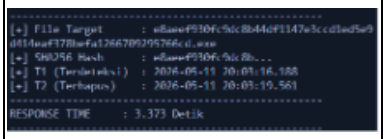
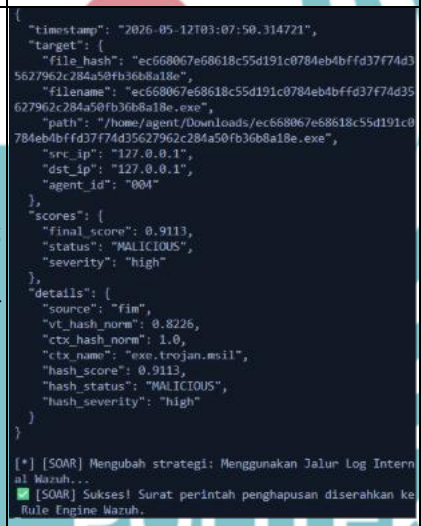
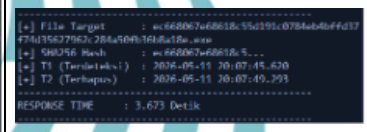
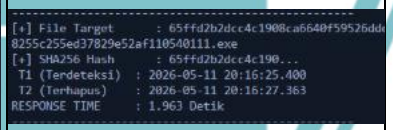






Lampiran 5 Hasil pengujian 428 data IOC pada sistem

No.	SHA 256 (IOC)	Log	Timestamp
1	4fcbe167dcd88e72b52ed43a3bc0b27d3a68f64efbd1f23e0113cd9f55a55f12		 T1 (Terdeteksi) : 2026-05-18 09:44:22.802, T2 (Terhapus) : 2026-05-18 09:44:25.899 RESPONSE TIME : 3.097 Detik
2	8ef77f5b654cd24325514fd2e71a079f8b990eed2df157b0f6eca23d10462590		 T1 (Terdeteksi) : 2026-05-11 19:51:20.410 T2 (Terhapus) : 2026-05-11 19:51:23.509 RESPONSE TIME : 3.099 Detik

3	e8aeef930fc9dc8b44df1147e3ccd1ed5e9d414eaf378befa1266709295766cd		 T1 (Terdeteksi) : 2026-05-11 20:03:16.188 T2 (Terhapus) : 2026-05-11 20:03:19.56 RESPONSE TIME : 3.373 Detik
4	ec668067e68618c55d191c0784eb4bffd37f74d35627962c284a50fb36b8a18e		 T1 (Terdeteksi) : 2026-05-11 20:07:45.620 T2 (Terhapus) : 2026-05-11 20:07:49.293 RESPONSE TIME : 3.673 Detik
5	65ffd2b2dcc4c1908ca6640f59526dde3048255c255ed37829e52af110540111		 T1 (Terdeteksi) : 2026-05-11 20:16:25.400 T2 (Terhapus) : 2026-05-11 20:16:27.363 RESPONSE TIME : 1.963 Detik

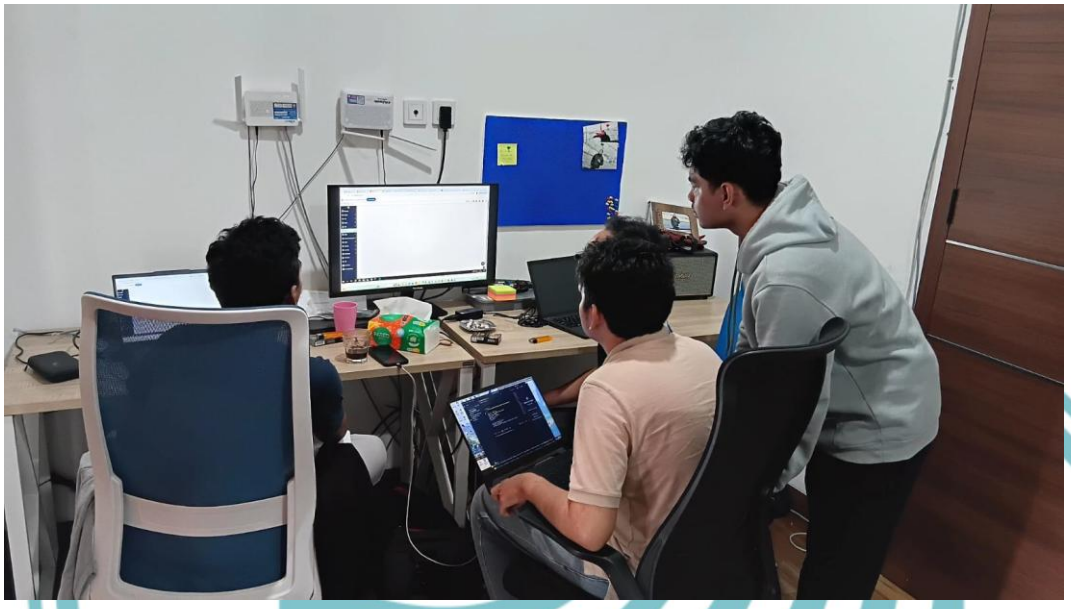
(dokumentasi lengkap dapat dilihat pada link berikut : https://word.cloud.microsoft/open/onedrive/?docId=5FE89369CD32FD12%21se7a621e481fd4dbe9b61ac6923e047e6&driveId=5FE89369CD32FD12)

Lampiran 6 Tabel hasil pengujian 428 data IOC pada sistem

No.	SHA256	Status Awal	VT Ratio	Skor VT	Skor CTX	Status OTX	Bobot Akhir
1	c91183175ce77360006f964841eb4048cf37cb82103f2573e262927be4c7607f	MALICIOUS	23/43	0,5349	1	48 pulses score10.0 High Risk	0,5119
2	c91183175ce77360006f964841eb4048cf37cb82103f2573e262927be4c7607f	MALICIOUS	23/43	0,5349	1	48 pulses score10.0 High Risk	0,5119
3	8c1dc9732884c6078b23953b78314a8d0d8b8d9fe42e5f97a7cd09b8ace943a9	MALICIOUS	29/43	0,6744	1	23 pulses score0 Unknown	0,5593
4	52b6fb40e7efb09c2bebe8550178e7e30009600bdedd1acae085d753761b7598	MALICIOUS	45/70	0,6429	1	23 pulses score1.1 Unknown	0,5486
5	40c2e559992a7f595c593b419930a3f216516c3042ad86fb985348d53b6e01b9	MALICIOUS	46/72	0,6389	1	13 pulses score7.0 Medium Risk	0,5472
6	9f4672c1374034ac4556264f0d4bf96ee242c0b5a9edaa4715b5e61fe8d55cc8	MALICIOUS	28/60	0,4667	1	26 pulses score0 Unknown	0,4887
7	5a17cfaea0cc3a82242fdd11b53140c0b56256d769b07c33757d61e0a0a6ec02	MALICIOUS	24/44	0,5455	1	48 pulses score10.0 High Risk	0,5155
8	b2ba51b4491da8604ff9410d6e004971e3cd9a321390d0258e294ac42010b546	MALICIOUS	41/61	0,6721	1	33 pulses score10.0 High Risk	0,5585
9	fd3f13db41cd5b442fa26ba8bc0e9703ed243b3516374e3ef89be71cbf07436b	MALICIOUS	28/48	0,5833	1	50 pulses score10.0 High Risk	0,5283
10	969d2776df0674a1cca0f74c2fccbc43802b4f2b62ecccecc26ed538e9565eae	MALICIOUS	39/59	0,661	1	41 pulses score10.0 High Risk	0,5547
11	dee1f9121f3a6682101389f432b4dee709507f7ace0a21d9cdbe373a40998e73	MALICIOUS	49/70	0,7	1	4 pulses score10.0 High Risk	0,568
12	4fcbe167dcd88e72b52ed43a3bc0b27d3a68f64efbd1f23e0113cd9f55a55f12	MALICIOUS	36/56	0,6429	1	6 pulses	0,5486
13	a9814c12c8f86a7b13e2d8889f6d0b082bca0cb65747045014707 75ae27e1f26	MALICIOUS	38/52	0,7308	1	4 pulses score13.0 Unknown	0,5785
14	e3c741645c81ba04a1ce8095dce081f7452b67bf2927fe23e0d68d4f7021754b	MALICIOUS	56/66	0,8485	1	4 pulses score16.0 Unknown	0,6185
15	637efa8a39524160858818ff63e2e0e502d5808aee97063ba4e98ee15267d0f7	MALICIOUS	24/56	0,4286	1	4 pulses score0.0 Unknown	0,4757
16	dba68a3035a409a34c848cb1218399fb7c9be87e45d0ed618e2d56f5fba19fb3	MALICIOUS	55/71	0,7746	1	4 pulses score9.0 High Risk	0,5934
17	4b3b9e2e24a56ab342bb517e97acbd203d37a090b0159401bb6a54fc11230b88	MALICIOUS	58/66	0,8788	1	4 pulses	0,6288
18	bda2b0b9985a34ff7589bec1b5f4eabf3c4e452ba479111663dc96253468b115	MALICIOUS	63/72	0,875	1	4 pulses	0,6275
19	e94865b2b225c8fe7e51c224d486c50711441647cf2266a7a698c1e56576036f	MALICIOUS	21/59	0,3559	1	4 pulses	0,451
20	00823f9a400139cf09885081cfa1115fe169df77dc01fe600f1393419fc5a5d6	MALICIOUS	27/60	0,45	1	4 pulses score10.0 High Risk	0,483
21	21117a9986e6c46e6ded575f875b254218d4d9b9588c1391fddf3b8b7cfa7e61	MALICIOUS	60/72	0,8333	1	4 pulses score6.0 Medium Risk	0,6133
22	595ebb854f6512804b3603ac8b63670531bd2c477845fd8b08d3411ae092cc38	MALICIOUS	57/71	0,8028	1	4 pulses score9.0 High Risk	0,603
23	030967003eace6864210b5ac969bd55e91eda783aa60869fe6ff6dae00ee9c96	MALICIOUS	56/71	0,7887	1	4 pulses score10.0 High Risk	0,5982
24	0a2c926442601cdd883dfc4d4b64b2f275d42fdeab88c082ca1cadbce2aad59c	MALICIOUS	26/59	0,4407	1	5 pulses score10.0 High Risk	0,4798
25	13beedd8a3f0a76dd864ff5693f3da4e70f7abf2fa846c9e51f1c87994ee0f61	MALICIOUS	26/60	0,4333	1	6 pulses score10.0 High Risk	0,4773
26	d6775349cb389f4c7a15478fef2c83baaf24540e28a57a40bd7d8e0fd24e65fa	MALICIOUS	21/53	0,3962	1	5 pulses score10.0 High Risk	0,4647
27	050fb15146ce0c354071e0fde7cd4c7948e89c339c37e27a422fa554b27f6d9e	MALICIOUS	26/58	0,4483	1	5 pulses score0.0 Unknown	0,4824
28	2c44a8d802cf2d05fe996e97a27ff9b123ecfba2b9be48cf35172b6489201605	MALICIOUS	25/61	0,4098	1	4 pulses score10.0 High Risk	0,4693
29	74f71cc4cff80b7fcac8e86f595b8d0e55718efde0c0040e2e2a5b66aeb05e1d	MALICIOUS	24/60	0,4	1	4 pulses score10.0 High Risk	0,466
30	7a009bba10f7fdfc958f97511b3c312373723444646fe1833ebb0753c5484b4a	MALICIOUS	25/60	0,4167	1	4 pulses score10.0 High Risk	0,4717
31	4c3b97c157d08ee298edb5d30fa86a3b90b04fedfbe517e7e0307b6013eacbf0	MALICIOUS	56/67	0,8358	1	4 pulses score16.0 Unknown	0,6142
32	da315d9c9c5c31c1cbfdcdbe673b94f236ad46afb6261ee7b22fea878b97a4e5	MALICIOUS	56/71	0,7887	1	4 pulses score10.0 High Risk	0,5982
33	3380d357123e5b81f36a3e606864da12ec9ae2a94c0cd580a89309adf077acd6	MALICIOUS	51/72	0,7083	1	4 pulses score0.2 Unknown	0,5708
34	520aa5f9f233057e70c40f9c7c3f417da4d0e1dd400a2dd4ff61d18b759ce8d0	MALICIOUS	60/70	0,8571	1	4 pulses score13.0 malicious	0,6214
35	55179fcade854308f587291b9bb586f97758ed216a5d773610e3f5f38d25e5e9	MALICIOUS	59/69	0,8551	1	4 pulses score6 Medium Risk	0,6207
36	f10b6634e99ff37ec83b9fecbc7cee089c1c82999eff9a6dc4519071e38f8000	MALICIOUS	60/70	0,8571	1	4 pulses score16.0 Unknown	0,6214
37	017ba68aa41ff6416707ea9fe1482dc231a6c6e2740961f5107c88695e9c4362	MALICIOUS	51/62	0,8226	1	4 pulses score16.0 Unknown	0,6097
38	741508351f8b822d9ce3ecd6d380ac5a37b598b7114c3db5e77a2bacd709c7c8	MALICIOUS	59/71	0,831	1	4 pulses score3.0 malicious	0,6125
39	5722bae97daf54f30f3fcca10ced0c88ec0e64f5c1de3152c332e6178b64acf2	MALICIOUS	56/67	0,8358	1	4 pulses score16.0 Unknown	0,6142
40	dce7346008cc7d3088246fe8bb2924315673e66ee6f939941d4ce73c2de16b08	MALICIOUS	55/68	0,8088	1	4 pulses score13.0 Unknown	0,605
41	909a9da9a1f47e503c348d59216494ade8d1fed8fd97e1435be1b0f98e156835	MALICIOUS	51/69	0,7391	1	4 pulses	0,5813
42	8289c8db41f3396a4353a982e715bba0a2d8b272b5d915f2462ac0578847d76a	MALICIOUS	59/70	0,8429	1	4 pulses score16.0 Unknown	0,6166
43	fb6d4ce94013385b31b30ec1ab8f1a6b2c34252a13062f880eae47b2b5cfc4e7	MALICIOUS	47/64	0,7344	1	4 pulses	0,5797
44	59374902866a6c62f56f32bdfd15a3a3215ec8d6bd2144b111066eff58c8e998	MALICIOUS	54/67	0,806	1	4 pulses score16.0 malicious	0,604
45	cdde3b2650c951e774a8694208c0d151e91b40db5d21da3d790d88ebd702edec	MALICIOUS	50/58	0,8621	1	4 pulses	0,6231
46	b954d66d6cb60a558efff4eb514a87f3ca4e657053090cc1d0770eb17e68560f	MALICIOUS	25/60	0,4167	1	Error Connection Failed	0,4717
47	0001b8219a77f8e206efe2b71ecf3892aed755c26fb2dc5e4b7b42a226b72eaa	MALICIOUS	31/71	0,4366	1	Error Connection Failed	0,4785
48	58d9f039ec38bbe03a1e1bf58a0102ce9c94d6efe39d2450cb44917d4a5c75af	MALICIOUS	56/67	0,8358	1	Error Connection Failed	0,6142
49	1159467031d7e6422cc1dbb955b2bdd50a0552dc433364caeffb5e2204f042aa	MALICIOUS	58/70	0,8286	1	Error Connection Failed	0,6117
50	65b912304a9ea084a79024eb215644b0b3b068da5bc475e681e0f09ba66e6f65	MALICIOUS	21/49	0,4286	1	Error Connection Failed	0,4757

(dokumentasi lengkap dapat dilihat pada link berikut : https://word.cloud.microsoft/open/onedrive/?docId=5FE89369CD32FD12%21se7a621e481fd4dbe9b61ac6923e047e6&driveId=5FE89369CD32FD12

Lampiran 7 Diskusi Sistem dan Treath Hunting di PT.XYZ



Lampiran 8 Kode Middleware

1. Kode main_scoring.py

```python
import os
import re
import json
import threading
import concurrent.futures
from datetime import datetime, timedelta
from dotenv import load_dotenv

try:
    from checkers.virustotal import check_virustotal
    from checkers.ctx import check_ctx
    from checkers.otx import check_otx
    from checkers.abuseipdb import check_abuseipdb
except ImportError as e:
    print(json.dumps({"error": "Module import failed", "details": str(e)}))
    exit()

load_dotenv()

CACHE_FILE         = "cti_cache.json"
CACHE_EXPIRY_HOURS = 24

# ── THREAD LOCKS (SISTEM ANTREAN) ──────────────────────────────
cache_io_lock = threading.Lock()
analysis_locks = {}
locks_manager_lock = threading.Lock()

# ── BOBOT CTI ──────────────────────────────────────────────────
W_IP_ABUSE = 1

# Hash: Diperbarui menjadi fusi 3 CTI (VT, CTX, OTX)
W_HASH_VT  = 0.4927
W_HASH_CTX = 0.5073
W_HASH_OTX = 0

# ── THRESHOLD KLASIFIKASI ──────────────────────────────────────

IP_THRESHOLD_MALICIOUS = 0.35

HASH_THRESHOLD_MALICIOUS = 0.10


# ── CACHE HELPERS ──────────────────────────────────────────────

def load_cache():
    if not os.path.exists(CACHE_FILE):
        return {}
    try:
        with open(CACHE_FILE, 'r') as f:
            return json.load(f)
    except:
        return {}


def save_cache(cache_data):
    try:
        with open(CACHE_FILE, 'w') as f:
            json.dump(cache_data, f, indent=4)
    except:
        pass
```

(Lanjutan)

```python
# ── NORMALISASI ──────────────────────────────────────────────

def normalize_vt(raw):
    if not raw or any(x in str(raw) for x in ["Error", "Not Found"]):
        return 0.0
    match = re.search(r'(\d+)/(\d+)', str(raw))
    return int(match.group(1)) / int(match.group(2)) if match else 0.0


def normalize_ctx(raw):
    safe = ["not found", "error", "none", "normal", "timeout"]
    return 0.0 if not raw or any(s in str(raw).lower() for s in safe) else 1.0


def normalize_otx(raw):
    if not raw or any(x in str(raw).lower() for x in ["none", "error"]):
        return 0.0

    raw_lower = str(raw).lower()

    if "malicious" in raw_lower or "high risk" in raw_lower:
        return 1.0

    # Cuckoo score — handles medium risk dan low risk sekaligus
    score_match = re.search(r'score:([\d\.]+)', raw_lower)
    if score_match:
        return min(float(score_match.group(1)) / 10.0, 1.0)

    return 0.0


def normalize_abuseipdb(raw):
    if not raw or "Error" in str(raw):
        return 0.0
    match = re.search(r'(\d+)', str(raw))
    return min(int(match.group(1)) / 100.0, 1.0) if match else 0.0


def extract_ctx_name(raw):
    if not raw:
        return None
    raw_str = str(raw).strip()
    if any(x in raw_str.lower() for x in ["not found", "error", "none", "normal", "timeout"]):
        return None
    return raw_str

def extract_vt_counts(raw) -> dict:
    """Ekstrak positives dan total dari raw VT string seperti '43/72'."""
    if not raw or any(x in str(raw) for x in ["Error", "Not Found"]):
        return {"vt_positives": 0, "vt_total": 0, "vt_found": False}

    match = re.search(r'(\d+)/(\d+)', str(raw))
    if match:
        positives = int(match.group(1))
        total     = int(match.group(2))
        return {
            "vt_positives": positives,
            "vt_total"    : total,
            "vt_found"    : positives > 0,
            "vt_ratio"    : f"{positives}/{total}"  # ← field ini yang muncul di dashboard
        }
    return {"vt_positives": 0, "vt_total": 0, "vt_found": False, "vt_ratio": "0/0"}


# ── STATUS HELPERS ──────────────────────────────────────────

def classify_hash(score: float) -> tuple[str, str]:
    if score >= HASH_THRESHOLD_MALICIOUS:
        return "MALICIOUS", "high"
    return "NORMAL", "low"


def classify_ip(score: float) -> tuple[str, str]:

    if score >= IP_THRESHOLD_MALICIOUS:
        return "MALICIOUS", "high"
    return "NORMAL", "low"
```

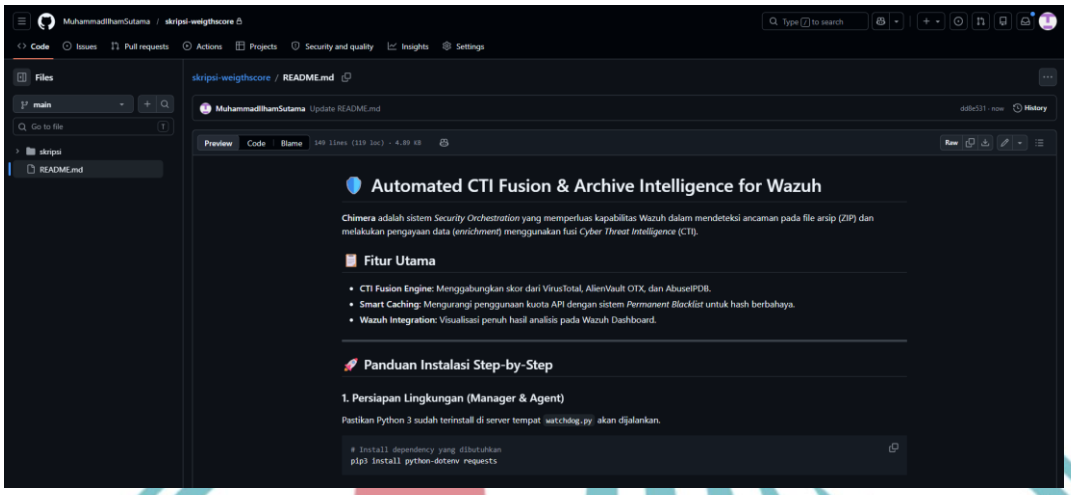
(Lanjutan)

```python
# ── SCORING HELPERS ──────────────────────────────────────────────

def _score_hash(file_hash: str) -> tuple[float, str, str, dict]:

    raw_h_vt  = check_virustotal(file_hash, "hash")
    raw_h_ctx = check_ctx(file_hash, "hash")
    raw_h_otx = check_otx(file_hash, "hash")
    ctx_name  = extract_ctx_name(raw_h_ctx)

    s_h_vt  = normalize_vt(raw_h_vt)
    s_h_ctx = normalize_ctx(raw_h_ctx)
    s_h_otx = normalize_otx(raw_h_otx)

    vt_counts = extract_vt_counts(raw_h_vt)

    # Rumus fusi 3 sumber
    hash_score       = (s_h_vt * W_HASH_VT) + (s_h_ctx * W_HASH_CTX) + (s_h_otx * W_HASH_OTX)
    status, severity = classify_hash(hash_score)

    detail = {
        "vt_positives"  : vt_counts["vt_positives"],   # ← 48
        "vt_total"      : vt_counts["vt_total"],        # ← 72
        "vt_ratio"      : vt_counts.get("vt_ratio", "0/0"),  # ← "48/72"
        "vt_found"      : vt_counts["vt_found"],        # ← True
        "vt_hash_norm" : round(s_h_vt, 4),
        "ctx_hash_norm": round(s_h_ctx, 4),
        "otx_severity" : str(raw_h_otx),
        "ctx_name"     : ctx_name,
        "hash_score"   : round(hash_score, 4),
        "hash_status"  : status,
        "hash_severity": severity,
    }
    return hash_score, status, severity, detail


def _score_ip(src_ip: str) -> tuple[float, str, str, dict]:
    raw_i_abuse = check_abuseipdb(src_ip, "ip")

    s_i_abuse = normalize_abuseipdb(raw_i_abuse)

    ip_score = (
        s_i_abuse * W_IP_ABUSE
    )
    status, severity = classify_ip(ip_score)

    detail = {
        "abuseipdb_norm": round(s_i_abuse, 4),
        "ip_score"      : round(ip_score, 4),
        "ip_status"     : status,
        "ip_severity"   : severity,
    }
    return ip_score, status, severity, detail


# ── CORE ENGINE ──────────────────────────────────────────────────

def get_threat_analysis(file_hash: str, src_ip: str, dest_ip: str,
                        file_path: str, source: str) -> dict:
    cache_key  = f"{source}_{file_hash}_{src_ip}"

    with locks_manager_lock:
        if cache_key not in analysis_locks:
            analysis_locks[cache_key] = threading.Lock()
        item_lock = analysis_locks[cache_key]

    with item_lock:

        with cache_io_lock:
            cache_data = load_cache()

        # ── CEK CACHE ──────────────────────────────────────────────
        if cache_key in cache_data:
            entry  = cache_data[cache_key]
            status = entry['data']['scores']['status']
            if status == "MALICIOUS":
                # MALICIOUS selalu fresh — tidak perlu re-query
                entry['data']['timestamp'] = datetime.now().isoformat()
                return entry['data']
            cached_time = datetime.fromisoformat(entry['cache_timestamp'])
            if datetime.now() - cached_time < timedelta(hours=CACHE_EXPIRY_HOURS):
                entry['data']['timestamp'] = datetime.now().isoformat()
                return entry['data']
```

(Lanjutan)

```
    # ── SCORING PER SOURCE ──────────────────────────────────────────
        if source == "fim":
            hash_score, status, severity, hash_detail = _score_hash(file_hash)

            final_score   = hash_score
            score_details = {
                "source": "fim",
                **hash_detail,
            }

        elif source == "suricata":
            ip_score, status, severity, ip_detail = _score_ip(src_ip)

            final_score   = ip_score
            score_details = {
                "source"  : "suricata",
                "analyzed": "src_ip",
                **ip_detail,
            }

        else:
            raise ValueError(f"Unknown source: {source}")

        # ── BUILD RESULT ────────────────────────────────────────────
        result = {
            "timestamp": datetime.now().isoformat(),
            "target": {
                "file_hash": file_hash,
                "filename" : os.path.basename(file_path) if file_path else "unknown",
                "path"     : file_path,
                "src_ip"   : src_ip,
                "dst_ip"   : dest_ip,
            },
            "scores": {
                "final_score": round(final_score, 4),
                "status"     : status,
                "severity"   : severity,
            },
            "details": score_details,
        }

        with cache_io_lock:
            current_cache = load_cache()
            current_cache[cache_key] = {
                "cache_timestamp": datetime.now().isoformat(),
                "data"           : result,
            }
            save_cache(current_cache)

        return result


if __name__ == "__main__":
    pass
```

(Lanjutan)



(dokumentasi lengkap dapat dilihat pada link berikut :
https://github.com/MuhammadIlhamSutama)